

Níž něčeho sám...

Musí ho vést ruka. Dokonce ani automat nefunguje sám od sebe, vyžaduje obsluhu, údržbu. V diskusích o zdokonaleném řízení našeho národního hospodářství se často vyslovuje názor, že je třeba dosáhnout hlubšího začlenění vědy a techniky do výrobního procesu, má-li naše hospodářství srovnat krok. Názor jistě správný. Jeho mechanické opakování však svádí ke zplošťování celého problému jen na to, že je nám třeba moderních strojů, tedy především investic. Ale např. v záznamu besedy redakce Kulturní tvorby se s. Drahomírem Koldrem se dočítáme, že jsme v minulých letech proinvestovali přes 130 miliard, aniž se to projevilo na růstu národního důchodu. Samotná technika tedy nestáčí.

Jediný zdroj, pro který omezení neplatí, je důvtip, vzdělání, znalosti – to, co se lapidárně nazývá zdokonalováním šedé kůry mozkové.

My, kteří se elektronikou zabýváme jako koníčkem, o této rezervách rozumu víme. Využíváme jich všichni – bez vědění není při našem koníčku ani radost z něj. Jenže ono nejde jen o ten koníček, i když nelze podceňovat užitek, který plyne z tvořivé práce – třeba provozované rekreačně – zotavení, spokojená mysl, sportovní využití, radost z úspěchu vlastnoruční práce. Jde také o to, že tyto klady lze spojit s výraznější pomocí celospolečenským potřebám. Již od obnovení radioamatérské práce poválc se vyskytovali jednotlivci, kteří se záměrně upnuli na pomoc národnímu

hospodářství: s. Kubík se svým dispečerským radiozařízením pro STS Kolovraty, s. Nemrava se svým Prefametrem, skupina s. Hesa se svým zařízením pro spojení na šachtě – to jen pro ilustraci několik případů z řady jiných, o nichž jsme se dověděli. O soustavnosti lze však dosud těžko mluvit a „přijde líto“, když se v referátech o sovětských výstavách radioamatérské tvořivosti dočítáme, že skupina exponátů „na pomoc národnímu hospodářství“ zde tvoří až jednu třetinu z celkového počtu zařízení.

Z mnoha příčin, které tuto stagnaci mohou způsobovat, si povšimněme zpětnovazební smyčky, kterou lze nazvat „autorita svazarmovských organizací“. Závody, které by mohly vědomostí, dovednosti a materiálního vybavení našich zařízení (kolektivek, kabinetů) využít – a který závod by to nepotřeboval – nestavěly před své radioamatéry přitažlivé tematické úkoly, nevyžadovaly si jejich spolupráci. Zhusta o této možnosti totiž ani nevěděly. Nevěděly, protože organizace na závodě s touto iniciativou také nepřicházely. A podle toho vypadala autorita, postavení svazarmovských funkcionářů ve srovnání s funkcionáři jiných složek, podpora.

Jestliže se dnes svazarmovské organizace ze závodů stěhují do sídlišť, neznamená to konec příležitostí pro tuto iniciativu. Upozorňujeme na ni v sousedství statí o měření proto, že právě elektronická měření budou v budoucnosti Achilovou patou údržby nových strojů.

MĚŘICÍ PRÍSTROJE PRO PRAXI

Jaroslav Přibil

Postavit krystalku není pro amatéra nic obtížného, pokud má po ruce vhodný návod. Krystalka pozůstává – na štěstí – jen z několika málo součástek. Zapojí-li je začínající adept amatérského umění správně podle plánu, nemusí zpravidla mít obavy, že by přijímač nefungoval.

Jak známo, s jídlem roste chuť a po první úspěšně zhotovené krystalce se mladý konstruktér usilovně snaží dále si komplikovat život. Rozhodne se tedy, že si postaví přístroj, který by nejen šeptal, ale doopravdy hrál a to nejen na sluchátko, ale na opravdový reproduktor. Nastane velké shánění vhodného a co nej-jednoduššího a přitom zázračně výkonného zapojení tranzistorového přijímače, následuje nákup součástek a pak vlastní montáž.

Přístroj je slavnostně dokončen, připojí se baterie, vypínač zapne a ozve se ... hrobové ticho. A to je chvíle, kdy nastávají nejnapínavější okamžiky. Jakým zá-krokem, jakým zaříkáním nebo kouzelným hmatem přimět neposlušný přijímač k povolnosti a donutit ho, aby se rozezvučel? Na neštěstí neplatí na elektrony (ani na „díry“ přenášející náboje v polovodičových krystalech) žádné zaklínání.

A jsme u toho. Je sice pravda, že se občas někomu podaří zkonstruovat více či méně dobrý přijímač z hotových nákoupených součástek s minimálními prostředky a nástroji na způsob „cejchovaného šroubováku“.

Nemám tím na mysli, že by si amatér měl opatřovat drahá a úzce specializovaná měřicí zařízení. Pro začátek a většinu běžných prací vystačí s jednoduchými a levnými přístroji, které sice nemají mnohdy přesnost ani 10%, ale pro běžnou praxi naprosto postačí.

I. Základní pojmy

První kategorií měřicích přístrojů, které tvoří základní vybavení, jsou ručkové

měřicí přístroje s otočnou cívkou. Jsou to měřidla, která využívají k měření síly, působící na vodič v magnetickém poli při průtoku elektrického proudu. Pokud zůstává vodič při pohybu stále v oblasti rovnoramenného magnetického pole, je i síla působící vychylku ručky úměrná intenzitě elektrického proudu, který vodičem protéká. Ke zvětšení účinku, jinými slovy ke zvětšení síly, která působí na smyčku drátu v magnetickém poli, se zvětšuje počet vodičů vložených do magnetického pole. Jinak řečeno zvětšováním počtu závitů, navinutých na otočnou cívku měřicího přístroje, se zvětšuje velikost otáčivého momentu cívky měřidla.

Průtokem proudu cívkou vzniká okolo cívky magnetické pole, které spolu s magnetickým polem stálého magnetu určuje směr síly. Při přeplování elektrického proudu, tekoucího cívkou přístroje, dochází k otočení směru magnetického pole, vznikajícího okolo cívky a výsledná síla mění svůj směr na opačnou stranu. Jinak řečeno to znamená: u měřidla s otočnou cívkou záleží na směru, kterým protéká elektrický proud přístrojem. Při změně polarity proudu se vychyluje ručka na opačnou stranu.

Z uvedeného vyplývá ještě jeden zajímavý poznatek. Soustavu s otočnou cívkou není možné připojit přímo na střídavý proud. Ručka se vychylí pouze při průtoku stejnosměrného proudu. Střídavé proudy je ručka schopna sledovat jenině tehdy, jsou-li změny proudu dostatečně pomalé. Při kmitočtech od několika Hz pozorujeme chvění ručky v místě kolem nuly stupnice.

Abychom si o ručkovém měřidle udělali správný názor, popíšeme si jej v krátkosti. Na obr. 1 je perspektivní pohled na jeho sestavu. Mezi půlovými nástavci *P* magnetu *M* se otáčí cívka, vinutá na kovovém nemagnetickém rámečku *N*. Na cívku

jsou na obou užších stranách nalepeny hroty, které jsou uloženy ve stavitelných ložiskách *L*. Ložiska bývají obvykle rubínová, podobně jako u kvalitních hodinek. Otáčením šroubu lze seřídit správnou vůli mezi ocelovými hroty hřídelků cívky a pánevičkami ložisek. Seřízení je velmi jemné a nemá být měněno, nemáme-li dostatek zkušeností. Ložiska se seřizují na co nejmenší vůli hrotů, ale přitom aby se cívka otáčela v ložiskách s co nejmenším třením.

Proud do cívky se přivádí dvěma jemnými spirálkami *D* z nemagnetického kovu (fosforbronzu), uloženými okolo ložiskových hrotů. Direktivní síla spirálek určuje citlivost měřidla. Na citlivost má samozřejmě vliv i celkový magnetický tok v mezeře magnetu, počet závitů cívky a průměr drátu cívky. Spirálky jsou uchyceny k plechovým páskům *V*, kterými se na čelní straně vyrovnává nulová poloha ručky. Spirálky bývají upevněny závity proti sobě, aby se kompenzovala jejich tepelná roztažnost. Malé, levné a málo přesné přístroje (většinou jednoúčelové ampérmetry apod.) mívají nulovou polohu ručky nastavenu jednou provždy. Většina přístrojů však má nulovou korekci (vidlicí *V*), kterou se natáčí jedna ze spirál.

Kovový rámeček, na kterém je navinuta cívka, tvoří závit nakrátko, ve kterém se při pohybu cívky v magnetickém poli indukují proudy. Tyto proudy vytvářejí zpětné síly, bránící pohybu cívky. Dochází tak k tlumení celého systému, které zabraňuje nežádoucímu kývání ukazatele při měření. Ze stejného důvodu mají být při transportu citlivá měřidla spojena na svorkách nakrátko, aby se dodatečným tlumením systému (malý odpor vréjšího obvodu) zabránilo prudkým výkyvům, které by mohly systém poškodit.

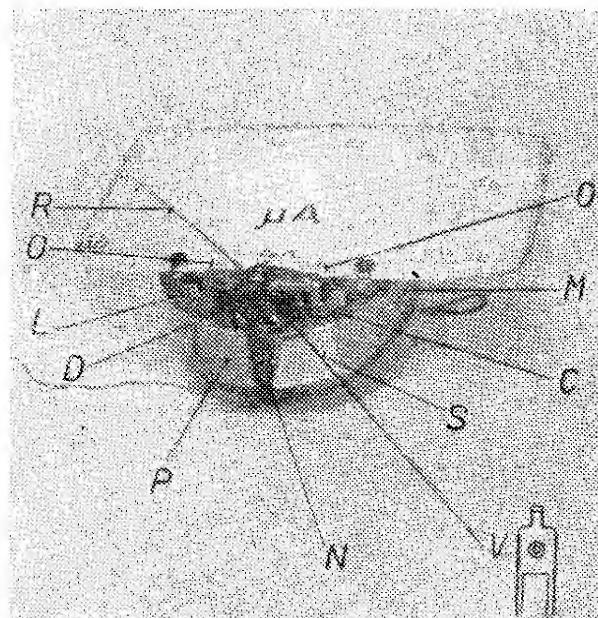
Ručka přístroje *R* bývá obvykle z lehké hliníkové trubičky, na jedné straně zploštěné do nožového hrotu, nebo i z jemného skleněného vlákna, které má překvapující pružnost. Ručka je na druhé straně vyvážena závažíčky *C*. Bývají to obyčejně dvě šikmo vybíhající raménka, na kterých je jako protiváha našroubována matička, nebo (u menších přístrojů) nanesena kapka cínu nebo laku. Vyvážení ručky je

nezbytně nutné, aby přístroj ukazoval v kterékoli klidové poloze vždy nulu. Přesné vyvážení platí pro tu polohu, pro kterou se předpokládá použití přístroje. Bývá to buď poloha vodorovná anebo svislá a je vyznačena zvláštní značkou na stupnici.

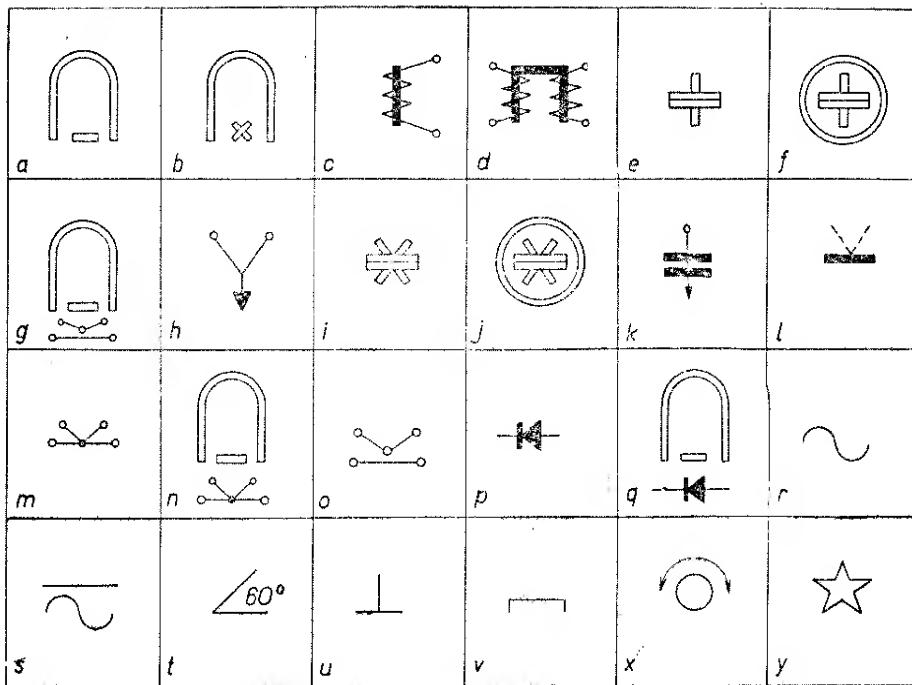
Nadměrnému vybočení ručky zabranují pružné dorazy *O*, které tak současně chrání systém před poškozením při nesprávném půlování proudového zdroje apod. Přístroj doplňuje stupnice. Aby bylo možné na první pohled rozpoznat o jaké měřidlo jde, bývají na stupnicích zakresleny různé značky, které umožňují okamžitou orientaci. Těchto značek je celá řada a pro přehled jsou shrnuty na obr. 2.

Jsou to především:

- soustava s otočnou cívkou – soustava Deprez d'Arsonval,
- soustava s otočnými cívками zkříženými,
- soustava elektromagnetická (s plíškem, kotvou apod.),
- diferenciální, tj. dvojitý elektromagnetický přístroj,
- elektrodynamický přístroj,
- elektrodynamický přístroj se stíněním,



Obr. 1. Části ručkového měřidla



Obr. 2. Značení ručkových měřidel

- g) přístroj s otočnou cívkou a s izolovaným termoelektrickým článkem,
- h) přístroj tepelný,
- i) přístroj elektrodynamický se zkříženými cívkami,
- j) přístroj elektrodynamický se zkříženými cívkami, stíněný,
- k) elektrostatický přístroj,
- l) přístroj vibrační,
- m) termoelektrický článek obecně,
- n) přístroj s otočnou cívkou a neizolovaným termočlánkem,
- o) izolovaný termočlánek,
- p) usměrňovací ventil,
- q) přístroj s otočnou cívkou a usměrňovacím ventilem,
- r) střídavý proud,
- s) přístroj je pro stejnosměrný a střídavý proud,
- t) přístroj je určen k zamontování v šikmé poloze s údajem sklonu,
- u) přístroj cejchován pro svislou montáž,
- v) přístroj je určen pro vodorovnou montáž,
- x) nastavení nuly,
- y) značka zkušebního napětí.

Není-li uvedeno jinak, je přístroj zkoušen napětím 500 V (izolace systému proti ostatním kovovým částem). Je-li vedle nebo uvnitř hvězdičky číslo, značí, kolika

tisíci volty byl systém zkoušen. Např. číslo 2 značí: zkoušeno 2000 V atd.

Přesnější měřidla mívají stupnici opatřenu zrcátkem pod stupnicí. Zrcátko odráží obraz ručky, pak je možné směrovat pohled tak, aby se ručka i zrcadlený obraz kryly. Kolmým pohledem zabráníme chybě, vznikající paralaxou, tj. šíkmým pohledem na ručku.

Jakostní měřidla počítají se stárnutím magnetů. Proto jsou opatřena stavitelným železným pláškem S, který působí jako magnetický bočník. Bočníkem můžeme v malých mezích odvádět magnetický tok v mezeře přístroje a tím v úzkém rozmezí vyrovnávat jeho citlivost.

Panelová měřidla, která pro naše účely nejlépe vyhovují, vyrábí v ČSSR národní podnik METRA, Blansko. Nejběžnější jsou tři základní rozměry a to DR45, DR70 a DR110 (dřívější označení DHR3, DHR5, DHR8). Pro přehled uvádíme na obr. 3 hlavní rozměry těchto přístrojů, rozvedené podle jednotlivých provedení v tabulce I.

Běžné rozsahy přístrojů jsou 20 μ A (jen DR110), 50 μ A (DR70 a DR110) a 100, 200, 500 μ A, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 mA atd. (ve všech třech provedeních).

Různých provedení a rozsahů je velmi mnoho a tak zájemcům doporučujeme

Tabulka I

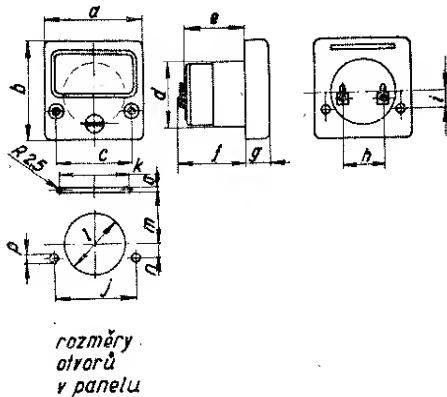
Rozměry základních měřicích přístrojů METRA

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
DR 45	44	44	36	32	30,5	35	12	22	7,0	36	27	33	17,8	7	4	3,6
DR 70	70	70	56	50	44,5	49	15	18	12	56	46	51	29,5	12	4,5	3,6
DR 110	110	110	84	80	48	52	16	26	20	84	76	82	49,5	20	5	4,8

podrobněji se poučit v příslušných katalogových listech nár. podniku METRA, Blansko.

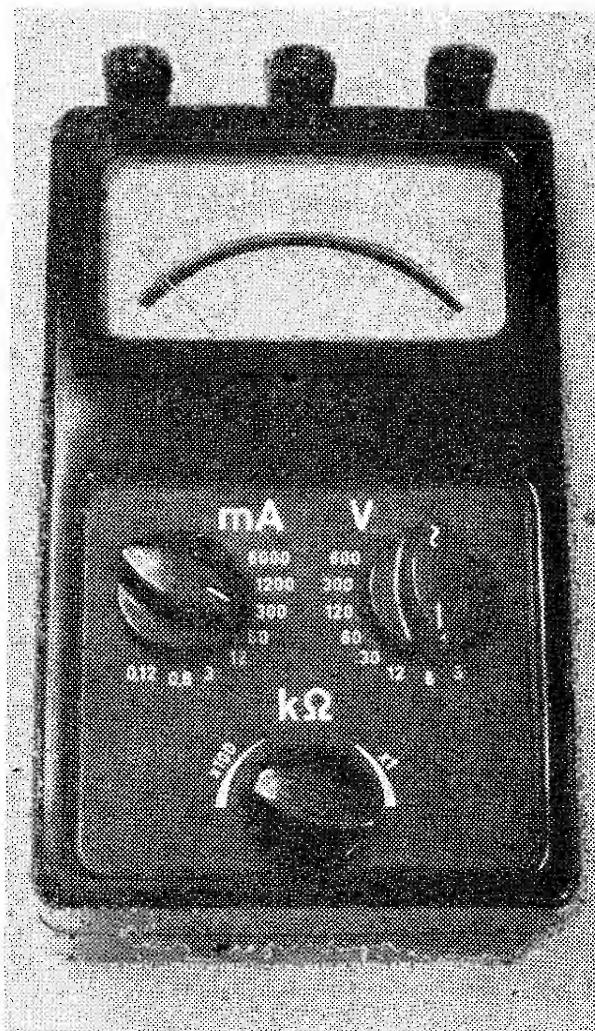
II. 1. Přístroje pro měření ss napětí a proudu

Pro běžnou praxi není logické mít pro každý rozsah jiné měřidlo. Jednoduchou úpravou lze totiž základní rozsah přístroje rozšířit o další jak napěťové tak i prourové rozsahy. Kombinací měřidla s příslušnými předřadnými odpory a bočníky vzniká univerzální přístroj, bez kterého si práci na všech pracovištích, na kterých se pracuje s elektrickým proudem, nedovědeme představit. Typickým představitelem mnohorozsahového, továrně vyráběného měřicího přístroje, je dobře známý přístroj AVOMET. Přístroje s několika rozsahy, doplněného baterií a předřadným odporem, lze vhodně využít i k měření odporů. Tovární výrobek tohoto druhu nár. podniku METRA, Blansko



Obr. 3. Rozměry měřidel Metra (DR45, DR70 a DR110)

nese označení Metra DU 10 (obr. 4). Jedná se o přístroje přesné a všeobecně použitelné, avšak nákladné. Je proto hodně těch, kteří by si rádi z dostupného měřidla (např. výprodejního nebo inkurant-



Obr. 4. Univerzální měřicí přístroj Metra DU 10 (Avomet II)

ního) sami zhotovili vlastní jednoduchý vícerozsahový přístroj pro měření napětí, proudu, odporu apod. Také se často stává, že pro různá speciální užití, např. do nějakého zařízení, potřebujeme přístroj, který měří na několika různých rozsazích. V krátkosti si proto připomeneme zásady, podle nichž při návrhu vícerozsahového přístroje postupujeme.

Výchozí veličinou, kterou musíme bezpodmínečně znát, je vlastní odpor měřidla a proud nebo napětí, potřebné pro plnou výchylku. Postačí znát jen jednu z obou hodnot, protože zbývající veličinu snadno vypočítáme z Ohmova zákona. Všimneme si nejprve případu, kdy potřebujeme rozšířit napěťový rozsah.

Nejmenší napěťový rozsah je dán rozsahem samotného měřidla. Největší napětí nikdy nevolíme větší než 1000 V s ohledem na izolaci, minimální přeskokové vzdálenosti a ohledem na bezpečnost obsluhujícího. *Pro měření vyšších napětí je třeba znát příslušná bezpečnostní opatření, o kterých se zde nebudeme šířit. Zájemce odkazujeme na příslušnou odbornou literaturu, kterou s ohledem na bezpečnost svoji i druhých osob jsou podle zákona povinni znát.*

Podle základního napěťového rozsahu měřidla a maximálního měřeného napětí volíme jednotlivé rozsahy tak, aby se na stupnici nemusely číst příliš malé hodnoty, nebo aby přepočítávání výchylky nebylo obtížné. Z tohoto důvodu se volí následující rozsah obvykle jako trojnásobek až pětinásobek předchozího. Tak například by taková řada rozsahů napětí mohla být: 0,3, 1,2, 6, 30, 120, 600 V. Můžeme také volit poměr rozsahů 1 : 3 : 10 atd. Volba rozsahu záleží samozřejmě na okolnostech. Ovšem máme vždy možnost ji snadno přizpůsobit požadavkům, které na přístroj klademe.

Pro rozšíření napěťového rozsahu měřidla používáme přídavných odporů, kterými omezujeme velikost proudu proté-

kajícího systémem měřidla (obr. 5). Vycházíme přitom ze základního rozsahu měřidla a jeho vnitřního odporu. Objasníme si to na příkladě. Mějme měřidlo s odporem 100Ω a citlivostí na plnou výchylku 1 mA. Je tedy základní napěťový rozsah přístroje $10^2 \Omega \times 10^{-3} \text{ A} = 0,1 \text{ V}$. Jako následující rozsah požadujeme 0,5 V. Při tomto napětí musí přístrojem na plnou výchylku protékat rovněž proud 1 mA. Z Ohmova zákona víme, že se tak stane, bude-li celkový odpor R_c

$$R_{c0,5} = \frac{0,5 \text{ V}}{10^{-3} \text{ A}} = 500 \Omega.$$

Odpor 500 Ω se ovšem rozumí celkový. Jak z obr. 5 vyplývá, máme v sérii s R_p zapojen vlastní odpor měřidla R_i , který je 100 Ω . Na předřadný odpor tedy zbývá

$$R_{pl} = R_{c0,5} - R_i = 500 - 100 = 400 \Omega.$$

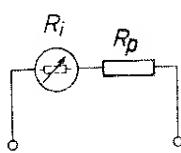
Další rozsah volíme např. 1 V. Celkový odpor za těchto podmínek musí tedy být

$$R_{c1,0} = \frac{1 \text{ V}}{10^{-3} \text{ A}} = 1000 \Omega.$$

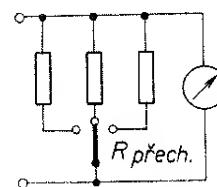
Do celkového odporu 1000 Ω vchází tentokrát součet předcházejících dvou odporů (= 500 Ω), na další předřadný odpor, tedy zbývá

$$R_{p2} = R_{c1,0} - (R_i + R_{pl}) = 1000 - 500 = 500 \Omega.$$

Při výpočtu dalších předřadných odporů postupujeme stejně. Jak je vidět výpočet není nijak obtížný. Nesmíme zapomenout po výpočtu kontrolovat, jaký elektrický výkon se na předřadných odporech spotřebuje, tj. přemění v teplo. Nejenom, že se odporu protékajícím proudem nesmí spálit; protékající proud nemá



Obr. 5. Rozšíření napěťového rozsahu



Obr. 6. Měřidlo s přepínaným bočníkem

předřadné odpory ani pozorovatelně ohřát, aby nedošlo ke změně jejich odporu a k chybnému měření napětí. Kontrolu tepelného zatížení odporů provádíme od nejvyššího rozsahu. Tak např. při maximálním měřeném napětí 500 V (je-li předcházející rozsah 100 V) máme na předřadném odporu úbytek

$$U = 500 \text{ V} - 100 \text{ V} = 400 \text{ V}.$$

(Zbývajících 100 V se objevuje na svorkách dalších, níže položených předřadných odporů). Při plné výchylce měřidla protéká odporem proud 1 mA. Výkon, který se na odporu 400 k Ω mění v teplo, je tedy

$$P = I^2 \cdot R = (10^{-3})^2 \cdot 400 \cdot 10^3 = \\ = 400 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 400 \text{ mW}.$$

Odpor 0,5 W by sice 400 mW vydržel, ale zahřál by se na teplotu přes 100 $^{\circ}$ C, při níž by změnil hodnotu o 20 až 30 %, což je zbytečná chyba. Chceme-li chybu udržet v mezích asi 5 %, musíme jej předimenzovat aspoň na 3, lépe však na 6 W, zvláště není-li skříňka dobře větrána.

Trochu složitější je výpočet proudových rozsahů. Nejjednodušší postup by byl: je-li základní rozsah měřidla 1 mA a máme-li v úmyslu měřit proudy větší, připojíme paralelně k měřidlu tak malý odpor, aby jím protékal celý proud až na 1 mA, který bude protékat měřidlem. Pro více rozsahů by tak vzniklo uspořádání podle obr. 6. Každý přepínač má však jistý přechodový odpor mezi kontakty. Při větším měřeném proudu a nedokonalém (a hlavně pokaždé jiném) styku kontaktu přepínače se snadno stane, že citlivým měřidlem teče větší proud, než bylo předpokládáno, a přístroj ukáže falešnou hod-

notu. Při selhání doteku je měřidlo přetíženo a může dojít k přepálení cívky. Věc osvětlí příklad. Měřidlo má citlivost 1 mA na plnou výchylku. Máme v úmyslu měřit proud 1 A. Hodnota bočníku je např. 0,1 Ω . Přepínač se opotřebuje nebo zkoroduje a připojí nedokonale proudový bočník, takže přechodový odpor je několik Ω . Pak musí protékat přes cívku více než desetinásobný proud. Cívka bude mnohonásobně přetížena a dojde k jejímu zničení. I když případ přepálení cívky je to krajní co se může stát, má nedokonalý kontakt v přepínači za následek alespoň nejistotu v údaji měřené hodnoty.

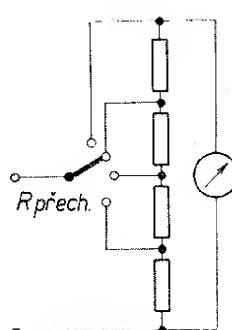
Jiná situace nastává v případě, vyznačeném na obr. 7. Dojde-li k porušení přepínače, nepoteče vůbec žádný proud. Nemůže tedy dojít k poškození měřidla. Měnící se přechodový odpor má sice poněkud vliv na celkový protékající proud, ale měřidlo ukáže vždy hodnotu skutečně protékajícího proudu.

Je dobré ještě připomenout, že v úpravě podle obr. 6 bychom museli použít přepínače, který by při přepínání překlenul vždy dva sousední kontakty, aby nenašlo přerušení proudového okruhu bočníků. To je zřejmě poměrně přísný požadavek, který je další příčinou, že se úpravy podle obr. 6 používá jen ve vyjímečných případech (při měření malých proudů asi do desítek miliampér).

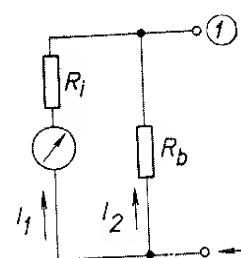
Návrh bočníku, vyznačeného na obr. 7, klade ovšem jisté nároky na minimální početní zdatnost. Při vhodném postupu je však možno celý návrh provést pomocí jednoduchých vztahů.

II. 2. Výpočet kruhového bočníku

Obrátíme nyní pozornost k obr. 8. Celkový měřený proud I se v uvedeném zapojení větví na dílčí proudy I_1 a I_2 .



Obr. 7. Měřidlo s kruhovým bočníkem



Obr. 8. Výpočet jednoduchého bočníku

Měřený proud I je podle velikosti R_b n -krát větší než jmenovitý proud měřidla I_1 . Napěťový úbytek na odporech R_i a R_b je přitom stejný. Můžeme tedy napsat

$$R_i \cdot I_1 = R_b \cdot I_2,$$

$$I = n \cdot I_1 = I_1 + I_2.$$

Z toho vyplývá, že

$$I_2 = n \cdot I_1 - I_1 = I_1 \cdot (n - 1).$$

Dosazením do první rovnice obdržíme

$$R_i \cdot I_1 = R_b \cdot I_1 \cdot (n - 1) \text{ a dále}$$

$$R_b = \frac{R_i}{n-1}. \quad (1)$$

Obdrželi jsme tak známou rovnici, používanou pro rozšiřování měřicích rozsahů při měření proudu. Podle počtu měřicích rozsahů rozdělíme pak celý bočník na dílčí odpory.

V rovnici (1) označíme
 R_b — celkový odpor bočníku
 R_i — vnitřní odpor měřidla

n — součinitel, o který je hledaný proudový rozsah s bočníkem větší, než základní rozsah měřidla (pro první rozsah n_1 , pro druhý — n_2 atd.).

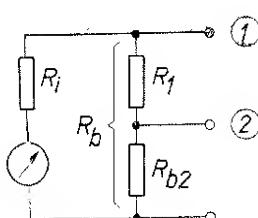
Index součinitele n_1 značí, že jde o první odbočku, tedy odbočku, na které měříme nejmenší proud a na které se nám objevuje souhrnný odpor celého bočníku (porovnej s obr. 11).

Rozdělme nyní odpor bočníku na dva odpory (viz obr. 9). Dostáváme tak vztah

$$R_{b2} = \frac{R_i + R_1}{n_2 - 1}$$

kde $R_1 = R_b - R_{b2}$

n_2 — násobek druhého proudového rozsahu, vztázený k rozsahu samotného měřidla.



Obr. 9. Výpočet kruhového bočníku pro dva rozsahy

Z toho vyplývá, že

$$R_{b2} = \frac{R_i + R_b - R_{b2}}{n_2 - 1} = \frac{R_i + R_b}{n_2}$$

Dosadíme-li nyní za

$$R_b = \frac{R_i}{n_1 - 1},$$

obdržíme

$$R_{b2} = \frac{R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right)}{n_2}.$$

Rozšíření měřeného rozsahu podle obr. 10 povede pro dílčí odpor R_{b3} k následující hodnotě

$$R_{b3} = \frac{R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right)}{n_3}.$$

Můžeme tedy napsat pro libovolný dílčí bočník

$$R_{bk} = \frac{R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right)}{n_k}. \quad (2)$$

Zde index k označuje pořadí odbočky.

První dílčí odpor R_1 vypočítáme nyní z rozdílu mezi R_b a R_{b2} (obr. 9), použijeme pro R_b rovnice (2):

$$R_b = \frac{R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right)}{n_1}$$

dále je $R_1 = R_b - R_{b2}$, to je

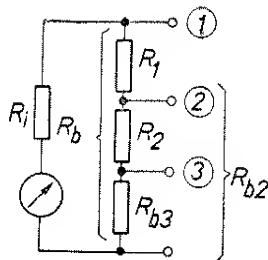
$$R_1 = \frac{R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right)}{n_1} - \frac{R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right)}{n_2}$$

$$R_1 = \frac{n_2 \cdot R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right) - n_1 \cdot R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right)}{n_1 \cdot n_2}$$

$$R_1 = R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right) \cdot \frac{n_2 - n_1}{n_1 \cdot n_2} =$$

$$= R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right) \cdot \left[\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right] \quad (3)$$

Odpor R_2 vypočítáme podle obr. 10 jako



Obr. 10. Vícenásobný kruhový bočník

rozdíl mezi R_{b2} a R_{b3}

$$R_2 = R_{b2} - R_{b3}$$

podobně bude

$$R_2 = R_i \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right) \cdot \left[\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_3} \right] \quad (4)$$

Vidíme tedy z rovnice (4), že v porovnání s rovnicí (3) stačí měnit pouze index n . Můžeme potom napsat obecnou rovnici

$$R_x = R_i \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right) \cdot \left[\frac{1}{n_x} - \frac{1}{n_{x+1}} \right] \quad (5)$$

Postup výpočtu nejlépe osvětlí příklad: pro měřidlo se základním rozsahem 100 μ A a napěťovým úbytkem 250 mV máme navrhnout bočník pro rozsahy 0,3, 1, 3, 10, 30, 100, 300 a 1000 mA. Naším úkolem je vypočítat potřebné dílčí odpory bočníku podle obr. 11. Vypočítáme nejprve násobky jednotlivých rozsahů.

$$n_1 = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 3$$

$$n_2 = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 10$$

$$n_3 = \frac{3 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 30$$

$$n_4 = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 100$$

$$n_5 = \frac{30 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 300$$

$$n_6 = \frac{100 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 1000$$

$$n_7 = \frac{300 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 3000$$

$$n_8 = \frac{1 \text{ A}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 10\ 000$$

Odpor měřidla je

$$R_i = \frac{0,25 \text{ V}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 2500 \Omega$$

Z rovnice (5) vypočítáme první odpor bočníku

$$R_1 = R_i \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right) \cdot \left[\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right] = \\ = 2500 \left(\frac{3}{3 - 1} \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - \frac{1}{10} \right]$$

$$R_1 = 3750 \left(\frac{10}{30} \right) = 875 \Omega$$

a podobně dosazováním další odpory

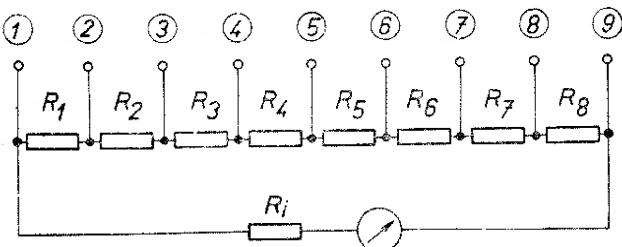
$$R_2 = 3750 \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{30} \right) = \\ = 3750 \left(\frac{30 - 10}{300} \right) = 250 \Omega$$

$$R_3 = 3750 \left(\frac{1}{30} - \frac{1}{100} \right) = \\ = 3750 \left(\frac{100 - 30}{3000} \right) = 87,5 \Omega$$

$$R_4 = 3750 \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{300} \right) = \\ = 3750 \left(\frac{300 - 100}{30\ 000} \right) = 25 \Omega$$

$$R_5 = 3750 \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{1000} \right) = \\ = 3750 \left(\frac{1000 - 300}{3 \cdot 10^5} \right) = 8,75 \Omega$$

$$R_6 = 3750 \left(\frac{1}{1000} - \frac{1}{3000} \right) = \\ = 3750 \left(\frac{3000 - 1000}{3 \cdot 10^6} \right) = 2,5 \Omega$$



Obr. 11. Úplný kruhový bočník

$$R_7 = 3750 \left(\frac{1}{3000} - \frac{1}{10000} \right) = \\ = 3750 \left(\frac{10000 - 3000}{3 \cdot 10^7} \right) = 0,875 \Omega$$

$$R_8 = 3750 \left(\frac{1}{10000} - \frac{1}{n_9} \right) = \\ = 3750 \left(\frac{1}{10000} - 0 \right) = 0,375 \Omega$$

V poslední rovnici odečítáme „0“. Žádná další odbočka nenásleduje a tak nemáme co odečítat.

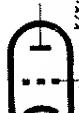
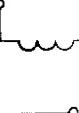
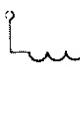
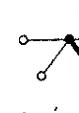
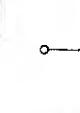
Tím jsme vypočítali všechny dílčí odpory bočníků. Na zkoušku můžeme sečít hodnoty všech vypočítaných bočníků. Výsledek má být rovný celkovému odporu bočníku R_b , který vypočítáme z rovnice (1) (v našem případě $n = 3$).

II. 3. Usměrňovače pro měřicí přístroje

Naznačený postup výpočtů nám dovolí zjistit hodnotu odporu pro rozšíření základního rozsahu měřidla při měření stejnosměrných napětí a proudů. V praxi však často potřebujeme měřit i napětí a proudy střídavé.

Protože systémy s otočnou cívkou měří přímo jen stejnosměrné proudy, musíme se při měření střídavých napětí nebo proudů postarat nejprve o přeměnu střídavé veličiny na stejnosměrnou; jinými slovy musíme střídavou veličinu usměrnit. Obecně máme několik možností, které pro přehled jsou shrnuty do tabulky II. Měrné usměrňovače v užším smyslu jsou zařízení, u kterých se stejnosměrný proud vytváří ze střídavého elektrickou cestou. Spíše historické jsou ty, které pracují pomocí mechanicky se pohybujících částí

Tabulka II

Měrné usměrňovače v užším smyslu						
Elektronické usměrňovače			Mechanické usměrňovače			Měniče
Polovodičové usměrňovače	Elektronky					
Cu ₂ O, kuprox selen germanium	dioda	trioda	kontaktní usměrňovač vibrační	usměrňovač rotační	termoelektrický článek	photoelektrický měnič
						

(vibrační a rotační usměrňovače). Pod pojmem „elektronické usměrňovače“ rozumíme ty, ve kterých dochází k usměrňení na základě elektronických jevů v polovodičích, v plynech nebo ve vakuu. Mají řadu společných znaků.

Na usměrňovací ventil můžeme pohlížet jako na odpor, který mění svou hodnotu podle velikosti a polarity přiloženého napětí.

Snadno pochopíme, že takovýto prvek nebude mít přímkovou voltampérovou charakteristiku jako obyčejný činný odpor, ale že závislost proudu na napětí bude vyjádřena nějakou zakřivenou čarou.

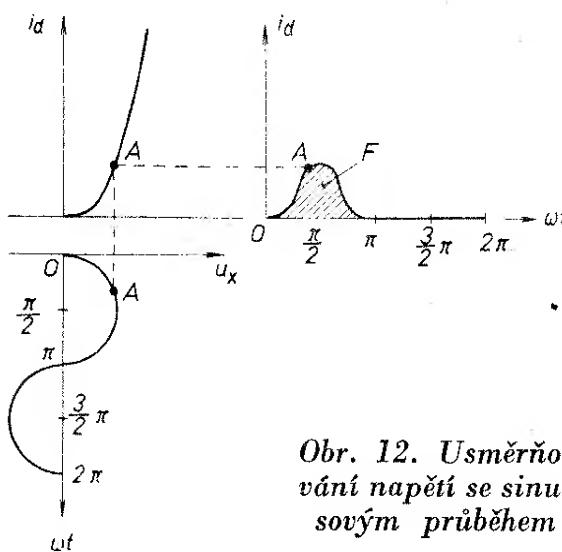
Jak z obr. 12 vyplývá, bude po přiložení střídavého napětí na ventil (např. kuprosový) protékat proud. Jeho průběh lze zjistit tak, že jednotlivé body křivky (sinusovky) přeneseme na křivku charakteristiky a znázorňujeme znovu, jako křivku bod po bodu (obr. 12).

Vlivem zakřivení charakteristiky bude i výsledný průběh proudu zkreslený. Měřicí přístroj s otočnou cívkou nám ukáže výchylku odpovídající průměrné hodnotě v čase tohoto proudu. Ta závisí na ploše F uzavřené křivkou i_d .

Střední proud pak je

$$i_{\text{stř}} = \frac{F}{2\pi}.$$

Snadno si uvědomíme, jak silně bude tento proud závislý na amplitudě přiloženého napětí. Vlivem ohybu spodní části

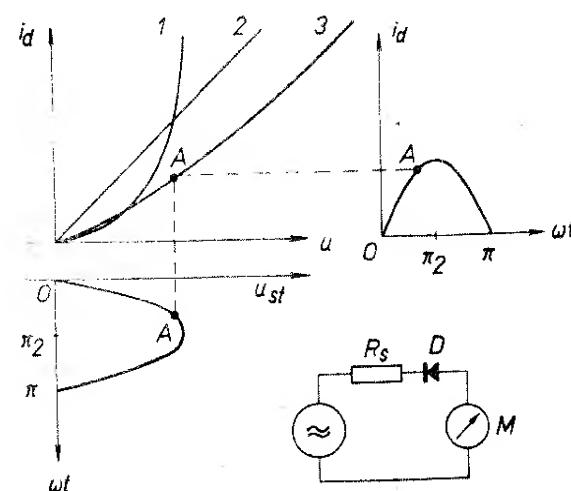


Obr. 12. Usměrňování napětí se sinusovým průběhem

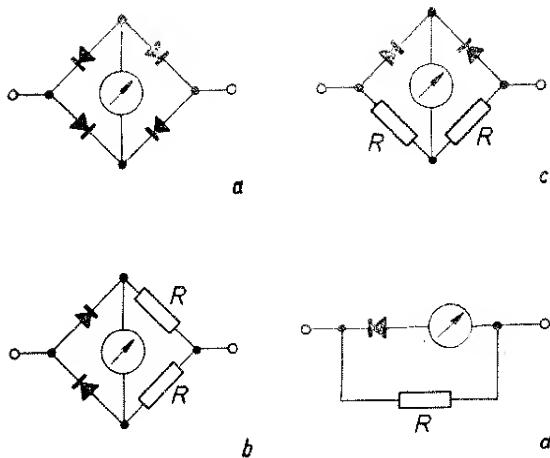
charakteristiky ventilu nedochází při přiložení malého střídavého napětí téměř k žádné výchylce měřidla. Se stoupajícím napětím výchylka rychle vzrůstá, ale rozložení dílků stupnice je silně nerovnoměrné.

Pokusme se zapojit do série s ventilem dostatečně velký odpor. Jakmile velikost odporu počne převažovat ve směru proplutném nad vnitřním odporem ventilu (obr. 13, průběh 2), převezme odpor řídicí funkci. Výsledná charakteristika (průběh 3 na obr. 13) bude sice se vzrůstajícím odporem méně strmá, ale bude nyní mnohem rovnější.

Za těchto podmínek je proud tekoucí ventilem stále více úměrný přiloženemu napětí. Vliv proměnného vnitřního odporu měřidla ustupuje do pozadí, převažuje stále rostoucí celkový odpor, ve kterém podíl vnitřního odporu klesá. Dochází k tzv. proudovému řízení ventilu a tím k linearizaci stupnice. Proud ventilem je závislý téměř výlučně na velikosti sériového odporu. Vidíme tedy proč je důležité při přechodu na měření střídavých veličin používat co největší odpor v sérii s ventily. Má to i nevýhodu ve zvýšení základního napětí, potřebného na plnou výchylku, které lze pak přístrojem měřit. Na střídavých rozsazích vícerozsahových měřicích přístrojů se proto zpravidla nešetří s napětím menším než 1,2 V na plnou výchylku. Naopak, toto napětí



Obr. 13. Vliv sériového odporu na linearizaci charakteristiky ventilu



Obr. 14. Různá zapojení ventilu

bývá často i větší (obr. 4., METRA DU 10, 3 V st).

Zvětšování odporu v sérii s ventilem má za následek zmenšování intenzity proudu, tekoucího měřidlem. Proto snahu po velikém sériovém odporu doprovází vždy i snaha použít co nejcitlivější měřidlo.

Záměr zvýšit maximálně citlivost přístroje vede k tomu, že se snažíme využívat k usměrňování nejenom jednu půlvlnu sinusovky, ale půlvlny obě. Vznikají tak zapojení, z nichž několik vidíme na obr. 14. Na obr. 14d je pro úplnost i půlvlnové zapojení, které lze rovněž použít u přístrojů s menšími nároky.

Složené usměrňovací obvody pro měřicí přístroje se často sdružují do jednoho společného stavebního dílu. Známý je čtyřnásobný kuproxový usměrňovač Siemens, v hantýrce označovaný jako „šváb“ (obr. 15). Čtyři usměrňovací ventily v jedné součástce umožňují vytvořit celovlnné usměrňovací zapojení, známé jako Graetzovo nebo můstkové zapojení (obr. 14a).

V řadě případů je z hlediska zlepšení rovnoměrnosti průběhu výhodnější zapojení 14b, nebo 14c. Odpadá jedna dvojice ventiliů s nelineární charakteristikou a přibývají dva odpory. Mohla by vzniknout domněnka, že v době germaniových diod jsou kuproxové usměrňovače v měřicích přístrojích přežitkem doby. Tento názor neodpovídá skutečnosti. Je třeba mít na paměti, že voltampérová charakteristika ventiliu má vždy oblast malé citlivosti, za kterou následuje koleno,

které teprve přechází do rovnější, téměř přímkové oblasti charakteristik (obr. 12).

A právě tzv. *prahové napětí*, při kterém nastává ohyb kolena, je důležité pro volbu ventilu v praktickém zapojení. A tady jsme u jádra věci; kuproxový usměrňovač má v kolenu charakteristiky jen napětí 0,05 až 0,1 V, kdežto u germania je toto napětí nad 0,2 V. Proto lze s kuproxovými usměrňovači dosáhnout rovnějšího průběhu stupnic nebo větší základní citlivosti, než s germaniovými diódami. Křemíkové diody mají toto napětí až 0,5 až 0,8 V, takže jsou pro tyto účely zcela nevhodné.

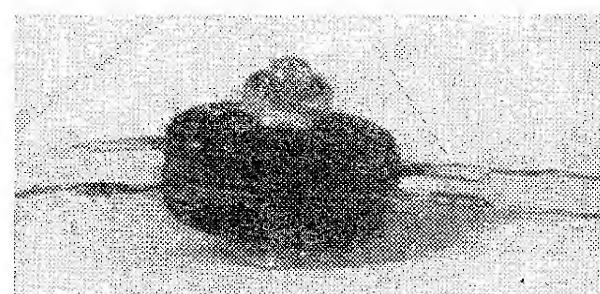
Nevýhodou kuproxových usměrňovačů je veliká kapacita jejich přechodové vrstvy, která bývá několik set pF na mm². Ta pak omezuje kmitočtový rozsah hotového měřicího přístroje. (U kuproxového měřicího přístroje bývá mezní kmitočet maximálně 10 kHz).

To je důvod, pro který se často dává přednost germaniovým usměrňovačům před kuproxovými, i když to má za následek snížení citlivosti na základních rozsazích.

Nyní ještě v krátkosti o volbě zapojení obvodu měřicího přístroje pro měření střídavých veličin.

Viděli jsme, že je především nutné, s ohledem na rovnoměrnost průběhu stupnice, zvětšit odpor v sérii s měřidlem. Můžeme proto považovat za základní zapojení měřidla pro střídavé napětí úpravu, uvedenou na obr. 16a.

Podmínu proudového buzení ventilu můžeme při měření napětí splnit i úpravou podle obr. 16c. Přes odporník R_b teče většina měřeného proudu. V zásadě si můžeme představit „zapojení 16c“ jako shodné se



Obr. 15. Kuproxový ventil „šváb“

zapojením 16a, budeme-li považovat paralelní kombinaci odporů R_b a R_p za totožnou s R_s

$$R_s = \frac{R_b \cdot R_p}{R_b + R_p}.$$

Při přepínání rozsahů musíme pro souhlas průběhu stupnice zajistit, aby se velikost R_s neměnila (v opačném případě by se kromě napěťové citlivosti měnilo i zakřivení průběhu charakteristiky a souhlas průběhu stupnice by při přechodu z jednoho rozsahu na druhý nebyl zajištěn). Upraví-li se hodnoty odporů tak, aby jejich výsledná kombinace R_s zůstávala stále stejnou, bude i po přepnutí zajištěn souhlas cejchování stupnice.

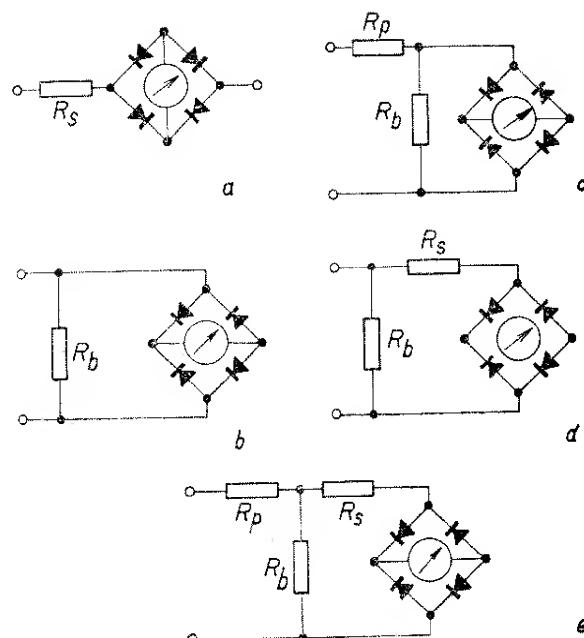
Tam, kde nelze předpokládat ryze prourové buzení, dáme přednost zapojení 16d, kde je zapojen ještě dodatečný linearizační odpor R_s . A konečně zapojení 16e je vhodné pro měření napětí. Základní kombinace R_s s ventilem je buzena pokud možno z nízkoohmového děliče (R_b má být co nejmenší). Vidíme tedy, že možností zapojení je celá řada. Početní vyjádření vztahů zapojení by se však rozrostlo do přílišné šíře a tak se spokojíme se zjednodušeným popisem výpočtu často používaného zapojení podle obr. 16e.

Linearizaci průběhu obstarává dvojice odporů R_s a R_b . Odpor R_p zajišťuje násobení rozsahu, je to v podstatě předřadný odpor. Snadno nahlédneme, že celkový odpor v sérii s měřidlem bude

$$R_s' = R_s + \frac{R_b \cdot R_p}{R_b + R_p}.$$

V případě, že odpor R_p je složen z několika odporů (předřadný odpor pro několik rozsahů), dosadíme za R_p součet všech dílčích odporů (tj. $R_p = R_1 + R_2 + R_3$ atd.).

Při měření napětí je obvykle vnitřní odpor zdroje malý ve srovnání s odporem přístroje. Na základním rozsahu se zdroj připojuje paralelně k R_b . Malý vnitřní odpor zdroje paralelně k většímu odporu R_b dá výsledný odpor zase malý, takže jako R_s' se uplatní prakticky jen odpor R_s . V případě měření velikého napětí roste R_p do velikých hodnot, takže paralelní kombinace R_b a R_p se stále více blíží



Obr. 16. Zapojení ventilu pro měření napětí a proudu

hodnotě R_b . Hodnota R_s pak přechází v hodnotu

$$R_s' = R_s + R_b.$$

Vidíme tedy, že R_s' kolísá mezi dvěma mezními případy, a to R_s a $(R_s + R_b)$. Aby stupnice při přepínání z rozsahu na rozsah co nejlépe souhlasily, je žádoucí udržet odpor R_b pokud možno malý. Na druhé straně vede zmenšování odporu R_b k růstu spotřeby měřicího přístroje. Opět má tedy oprávnění snaha:

- mít měřidlo s otočnou cívkou co nejcitlivější,
- co nejvíce snížit citlivost malým R_b ,
- udržet základní napěťový rozsah co největší volbou velikého R_s (celková linearita stupnice).

Při návrhu vycházíme nejprve z nejnižšího napěťového rozsahu. Zvolíme např. 3 V jako první rozsah. Máme k dispozici měřidlo s rozsahem 0,0001 A (100 μ A) a celkovým odporem $R_i = 2500 \Omega$ (úbytek na systému je 0,25 V).

Zapojením ventilu do sérii, měřidlem dochází ke ztrátám, takže jeho plná výchylka již nebude při proudu 0,1 mA,

ale při proudu asi o 10 % větším. Pak musí být celkový odpor R_c pro 3 V

$$R_{c3V} = \frac{U}{I_{měř} + 10\%} = \frac{3}{0,11 \cdot 10^{-3}} = 27\ 273 \Omega.$$

Na základním rozsahu se ještě R_b neuplatňuje v součtu s R_s' . Nyní by bylo na místě zjistit, o jaké napětí se průběh stupnice při měření střídavého napětí odlišuje od přesně lineárního stejnosměrného průběhu. Je možné tuto odchylku zjistit měřením, ale můžeme ji také odhadnout: bývá $0,1 \div 0,3$ V, použijeme hodnotu 0,25 V. Základní rozsah přístroje je k -krát větší, tj. $k = 3\text{V}/0,25\text{V} = 12$ krát větší, než je napěťová odchylka od lineárního průběhu. Požadujeme-li, aby se průběh stupnice kryl při přechodu z rozsahu na rozsah s přesností do 1 %, tj. $\pm 0,5\%$, tedy aby rozdíl byl $\delta = 0,01$, můžeme pro R_b volit hodnotu

$$R_b = R_{cx} \cdot \frac{\delta'}{1 - \delta'}, \text{ kde } \delta' = \delta \cdot k.$$

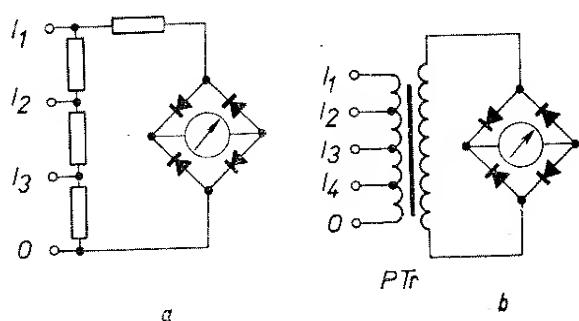
Tedy v našem případě, kde $k = 12$, $R_c = 27\ 273 \Omega$ a $\delta = 0,01$, je $\delta' = 0,01 \cdot 12 = 0,12$ a

$$R_b = 27\ 273 \cdot 0,12 = 3272 \Omega.$$

Tímto odporem by protékal proud

$$I_{Rb} = \frac{3\text{V}}{3272 \Omega} = 0,915 \text{ mA},$$

spolu s proudem tekoucím měřidlem tj.



Obr. 17. Uspořádání zapojení pro měření střídavých proudů

$$I_{celk} = I_{měř 1,1} + I_{Rb} = 0,11 + 0,915 = 1,025 \text{ mA}.$$

S ohledem na zaokrouhlené hodnoty předřadných odporů bude výhodnější zmenšit celkovou spotřebu na 1 mA i za cenu nepatrně zvětšeného rozdílu ve čtení při přechodu ze stupnice na stupnici. Proto bychom volili

$$R_b = \frac{3\text{V}}{0,89 \text{ mA}} \doteq 3370 \Omega.$$

Přesnou hodnotu bychom museli upravit na plnou výchylku 1 mA změnou velikosti odporu R_b (neznáme přesně ztráty v usměrňovacím ventilu). Je dobré si uvědomit, že v našem výpočtu jsme použili několika veličin, které jsme jen odhadli. Mimo proudu, potřebného pro plnou výchylku měřidla s ventilem, je to i maximální odchylka odečítaného napětí od rovnoměrného průběhu stupnice.

Pokud nám záleží na větší přesnosti hotového přístroje, bude na místě ověřit si přesným měřením správnost našich předpokladů.

S výslednou hodnotou základního rozsahu 1 mA a 3 V můžeme v dalším pracovat, jak jsme zvyklí z výpočtu stejnosměrných rozsahů. To znamená, že další odpory R_p volíme tak, aby odpovídaly proudové spotřebě 1 mA. Např. pro měření 30 V zapojíme do série odpor

$$R_p = \frac{(30 - 3)\text{V}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 27\ 000 \Omega.$$

Podobně můžeme rozdělit odpor R_b pro měření proudů větších než 1 mA metodou popsanou ve statí o kruhovém bočníku (viz. obr. 17a). Tam, kde by při měření proudu vadil velký úbytek napětí (3 V na základním rozsahu), doporučuje se místo bočníku používat v amatérské praxi značně opomíjené součástky: proudového transformátoru podle obr. 17b. U transformátoru se stoupajícím měřeným proudem se zmenšuje úbytek napětí na svorkách měřicího přístroje (v našem případě na rozsahu 10 mA klesá úbytek napětí na 0,3 V atd.).

Je tedy výhodné, kladě-li se důraz na měření střídavých proudů, použít varianty podle obr. 17b. Pro úplnost: proudový transformátor může být navinut na libovolném jádře průřezu $q = 0,5 \div 1 \text{ cm}^2$.

Vinutí drátem stačí ukládat „na divo“, průměr drátu pro sekundár asi $0,1 \div 0,15 \text{ mm}$.

Vycházíme z největšího měřeného proudu (např. 6 A). Pro tento proud navineme jediný závit z páskové měděné fólie 0,05 tlusté a asi $25 \div 35 \text{ mm}$ široké (navrch vinutí jako poslední závit). Pro rozsah 10krát menší, tedy 0,6 A, bychom potřebovali asi 10 závitů drátu 0,8 mm. Obvykle postačí jen $8 \div 9$ závitů (jediný závit pro 6 A mává příliš velký rozptyl, takže transformační poměr není úplně shodný s pouhým číselným převodem závitů). Další vinutí jsou pak již celistvým násobkem přepočítávacího koeficientu rozsahů. Tak např. rozsah 30 mA je proudově 20krát menší, než 0,6 A. Navineme 20×8 záv. = 160 závitů drátu $\varnothing 0,3 \text{ mm}$ atd.

Po dohotovení je nutno proudový transformátor ověřit funkčně a provést případně malé korekce v počtu závitů tak, aby jednotlivé rozsahy na sebe navazovaly celistvými násobky.

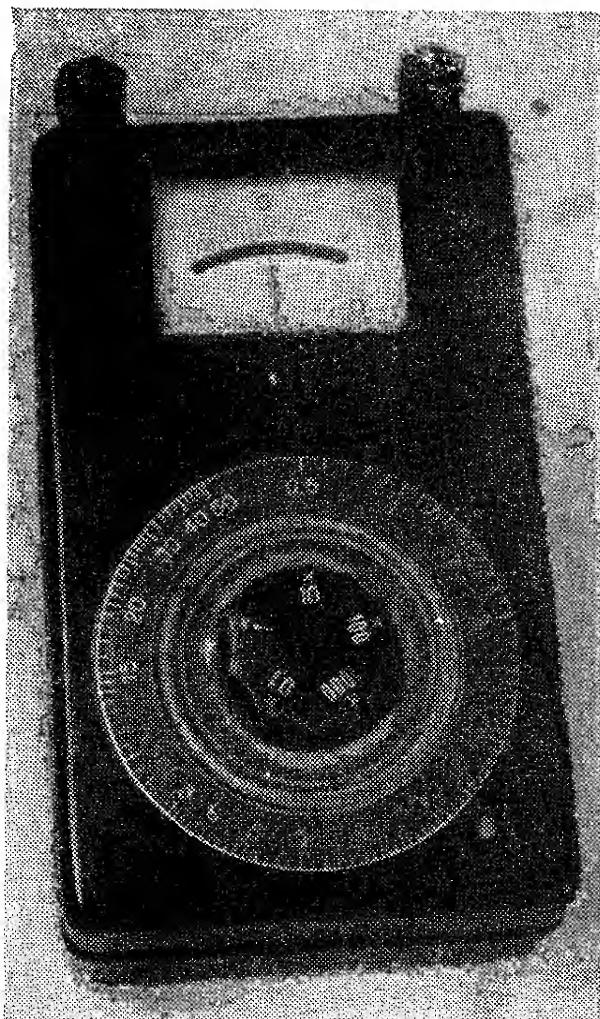
III. 1. Měření odporů napěťovou a proudovou metodou

V praxi nestačí znát jen velikost napětí a proudů v jednotlivých uzlech. Neméně důležité je znát i hodnoty použitých součástek. Týká se to především nejběžněji používaných slaboproudých součástek, tj. odporů, kondenzátorů a cívek. Měření kondenzátorů a cívek spadá svou povahou převážně do oblasti vysokofrekvenčních kmitočtů a bude o něm zmínka v další části tohoto článku. Měření odporů je na rozdíl od toho úloha, která se řeší především pomocí stejnosměrného napětí nebo proudu.

Odpor můžeme měřit dvěma způsoby. Je to metoda s přímým údajem a metoda můstková. Zhotovení odporového můstku v domácích podmírkách naráží na řadu těžkostí, hlavně zhotovení můstkového odporu. Ten se většinou vyrábí v podobě tenkého přesně proměřeného (kalibrova-

ného) vodiče, uloženého na obvodu kotouče stupnice. Výroba doplňkových odporů spolu s potřebnými omezovacími odpory vyžaduje kromě jiného i vybavení dostatečně přesnými normály a měřicími přístroji, o kterých nelze předpokládat, že budou snadno dosažitelné pro domácího pracovníka. Pokud někdo potřebuje častěji měřit odpory s dostatečnou přesností, vyplatí se opatřit si odporový můstek Omega, který je dostupný ve speciálních prodejnách (viz obr. 18).

Z nedostatku jiných prostředků spoléhá se mnoho domácích pracovníků při zjišťování hodnoty odporu na údaj, vytiskněný na tělisku. Jakmile se údaj setře, rázem stojí před problémem, jak zjistit jeho nečitelnou hodnotu. Stejně často stojí



Obr. 18. Univerzální odporový můstek Metra „Omega“

před úkolem zjistit souvislost vývodů cívek, např. transformátorů apod.

Tím jsme vyjmenovali na 90 % úloh, které se v běžné domácí praxi vyskytnou. Na takovéto úkoly však vystačíme docela dobře i s jednoduchými prostředky, jako jsou přímoukazující ohmmetry.

Ohmmetry lze rozdělit na ohmmetry napěťové a proudové. Napěťového ohmmetru používáme především k měření velkých odporů, a to až do hodnot $1 \text{ M}\Omega$ i více. Proudovým ohmmetrem měříme odpory od zlomku Ω asi do stovek Ω .

Základní zapojení napěťového ohmmetru je na obr. 19. Zapojení je velmi prosté: do série s miliampérmetrem zapojujeme předřadný odpor R_p , svorky pro neznámý odpor R_x a vhodný zdroj proudu, baterii B . Při měření se vychází ze stavu, kdy jsou svorky S spojeny dokrátka. Měřený odpor je pak nulový. V závislosti na napětí baterie a proudu, potřebného pro plnou výchylku miliampérmetru, se zvolí hodnota předřadného odporu R_p . Obvykle se tento odpor rozděluje do dvou částí, a to pevné a proměnné. Změnou proměnné části se pak vyrovnává plná výchylka miliampérmetru při stárnutí baterie.

Z obr. 19 je zřejmé, že celkový odpor R_c , zapojený do série s měřidlem, je

$$R_c = \frac{U}{I}$$

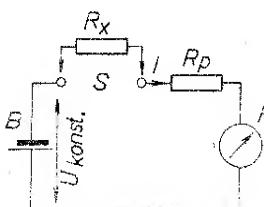
Ze znalosti vztahů

$$R_c = R_x + R_p$$

můžeme napsat

$$R_x = \frac{U}{I} - R_p \quad (6)$$

Pro cejchování ohmmetru je tedy nutné znát velikost předřadného odporu R_p i vlastního odporu cívky miliampérmetru. Situaci objasní malý příklad. Předpokládejme, že napětí baterie je 1,5 V a že



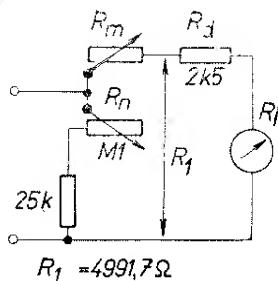
Obr. 19. Měření odporu napěťovou metodou

měřidlo má proudový rozsah 0,001 A pro plnou výchylku. Z Ohmova zákona vypočítáme, že v sérii s miliampérmetrem má být celkový odpor pro plnou výchylku (i s odporem cívky přístroje) 1500 Ω . Z toho má např. cívka měřidla 100 Ω , takže na předřadný odpor zbývá 1400 Ω . V praxi zapojíme pevný odpor 1000 Ω do série s proměnným odporem také 1000 Ω . Přístroj se zkratovanými svorkami nastavíme na plnou výchylku. Po připojení neznámého odporu klesne výchylka miliampérmetru např. na $I' = 0,26 \text{ mA}$. Podle rovnice (6) nyní vypočítáme hledanou hodnotu odporu.

$$R_x = \frac{U}{I'} - R_p = \frac{1,5}{0,26 \cdot 10^{-3}} - 1500 \doteq \doteq 4270 \Omega.$$

Předpokladem pro správné měření je, aby miliampérmetr měl cejchování proudového průběhu, tj. abychom mohli s dostatečnou přesností určit proud, tekoucí obvodem. Dále musíme znát jak napětí baterie, tak i výchozí sériový odpor R_p .

V praxi bychom uvedeného způsobu používali především při nedostatku jiných vhodných měřicích přístrojů. Stupnici měřidla lze ocejchovat přímo v hodnotě měřeného odporu tak, jak je to vidět na obr. 4. Z tohoto obrázku rovněž vyplývá, že uvedená metoda se hodí především pro měření odporu v rozpětí zhruba dvou dekád (desítek), a to od 0,1 do 10 k Ω . Ze zapojení na obr. 19 vyplývají i omezení přímé napěťové metody. Při měření malých hodnot odporu jsme nutni používat velkého proudu, tekoucího měřidlem. Současně se doporučuje snižovat napětí baterie. S ohledem na praktickou potřebu není účelné volit napětí baterie menší než 1,4 V (tj. jeden článek baterie). Zvolíme-li proud měřidlem 10 mA, klesne výchylka měřidla na polovinu při hodnotě odporu R_x asi 140 Ω . V praxi bude účelné omezit se na proud asi 100 mA a nepočítat s touto metodou u odporů menších, než několik ohmů. Máme-li měřit velké odopy, nutí nás uvedená metoda používat vyššího napětí baterie, nebo citlivějších měřidel. Tuto nevýhodu lze obejít tím, že k měření výchylky



Obr. 20. Základní úprava pro kompenzaci změn napětí baterie

nepoužijeme měřidla zapojeného do série s R_x , ale velikost neznámého odporu budeme odvozovat z napětí, které se objeví na jeho svorkách. Napětí na odporu R_x se měří elektronkovým voltmetrem, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků měření odběrem proudu z měkkého zdroje, který odpor R_p větších hodnot představuje. O tomto způsobu měření odporu bude ještě zmínka v odstavci o elektronkových voltmetrech a jejich použití.

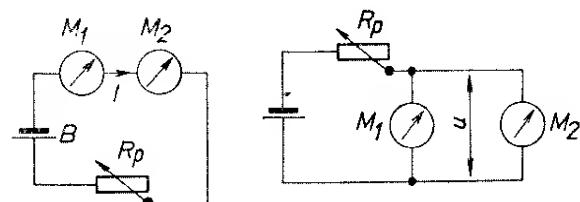
III. 2. Ohmmetr s kompenzací změn napětí

Je třeba se zmínit ještě o způsobu, kterým lze zlepšit přesnost měření odporu napěťovou metodou. Z čeho vyplývá nepřesnost uvedené metody? Hlavním zdrojem chyby je proměnné napětí baterie během života. Čerstvá baterie mívá napětí 1,55 až 1,6 V. Během provozu může napětí baterie poklesnout na 1,3 V i níže. Použijeme-li v zapojení podle obr. 19 měřidla se základním rozsahem 1 mA, musí mít R_p hodnotu (i s cívkou měřidla) od 1300 Ω až do 1600 Ω . Poloviční proud poteče měřidlem tehdy, bude-li neznámý odpor přesně tak veliký, jako je R_p , ale R_p je podle napětí baterie proměnný v rozpětí od 1300 do 1600 Ω . Znamená to tedy vztáhnout cejchování stupnice ohmmetru na nějakou, předem zvolenou, střední, nejpravděpodobnější hodnotu R_p .

U továrně vyráběných přímoukazujících ohmmetrů se proto k nastavování základní výchylky používá jiného způsobu. Hodnota odporu R_p se volí pevná, neměnná a proměnné napětí baterie se kompenzuje změnou citlivosti měřidla pomocí magnetického bočníku. V obvyklých podmírkách stačí vyrovnávat napětí baterie (a tím i proud měřidlem)

v rozpětí asi 20 %. Takové změny citlivosti měřidla dosáhneme snadno pohybli v uloženým železným jazýčkem, kterým se překrývá mezera mezi pólovými nástavci magnetu měřidla. Tato úprava, i když v zásadě jednoduchá, je především vhodná pro přístroje k tomu konstruované, tedy především pro tovární výrobky. Při použití obyčejného neupraveného měřidla s otočnou cívkou lze citlivost přístroje měnit bez změny celkového odporu R_p , zapojeného do obvodu, způsobem, který je vyznačen na obr. 20. Žde jsou dva potenciometry spráženy takovým způsobem, že jeden odpor se připojuje paralelně k měřidlu a druhý do série s ním. Závislost odporu na úhlu otočení hřídele však není lineární a tak musíme buď paralelní nebo sériový odpor upravit tak, aby jejich odpor vyhovoval požadavku celkové linearity.

Než přistoupíme k výpočtu hodnoty odporu i k určení jeho průběhu, musíme znát vnitřní odpor cívky měřidla, a to nejen pro účely ohmmetru, ale pro jakýkoliv účel, je vhodné dělat jediné měřením proudu potřebného pro maximální výchylku a zjištováním úbytku napětí na přístroji. Obr. 21 vlevo přiblíží způsob jak měřit základní proudový rozsah přístroje M_1 pomocí známého cejchovaného miliampérmetru M_2 . Odpor R_p se nastavuje na hodnotu, kdy měřený přístroj ukazuje právě plnou výchylku. Proud, který při tom obvodem protéká, čteme na přístroji M_2 . Za baterii B postačí jediný monočlánek. Druhé měření uspořádáme podle obr. 21 vpravo; potřebujeme cejchovaný milivoltmetr M_2 . Odparem R_p znovu nastavíme maximální výchylku přístroje M_1 a na přístroji M_2 čteme úbytek napětí na cívce měřeného přístro-



Obr. 21. Určení proudového a napěťového rozsahu měřidla

je. Z Ohmova zákona pak snadno vypočítáme vnitřní odpor měřidla M_1 dosažením naměřených hodnot do rovnice

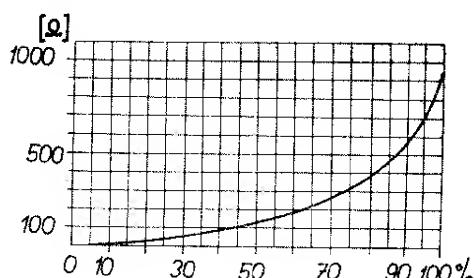
$$R = \frac{U}{I}.$$

Předpokládejme, že naše měřidlo se základním rozsahem $0,0001 \text{ A}$ ($100 \mu\text{A}$) má úbytek napětí při plné výchylce $0,25 \text{ V}$ (250 mV). Vlastní odpor měřidla je tedy 2500Ω .

Snažíme se vystačit u navrhovaného ohmetru s jediným monočlánkem a přitom měřit co největší hodnotu odporu. Budeme počítat s minimálním napětím baterie $1,3 \text{ V}$. Pak střední výchylka (poloviční proudová výchylka) nastane při zapojení neznámého odporu $13 \text{ k}\Omega$. S ohledem na další součástky zapojení budeme počítat se střední hodnotou $12,5 \text{ k}\Omega$. To znamená, že předřadným odporem poteče celkový proud $104 \mu\text{A}$ při napětí baterie $1,3 \text{ V}$ a $124 \mu\text{A}$ při napětí $1,55 \text{ V}$. Z toho vyplývá, že proud, který je třeba odvést paralelním odporem se bude měnit od 4 do $24 \mu\text{A}$. Abychom nepřetlumili měřicí přístroj na nejnižších odporových rozsazích malým paralelním odporem, bude nutné zapojit do série s přístrojem pevný odpor přibližně též hodnoty, jako je vnitřní odpor cívky přístroje (odpor $R_d = 2500 \Omega$ na obr. 20).

Pak bude při proudu $100 \mu\text{A}$ napěťový úbytek na celé kombinaci 500 mV . Má-li paralelním odporem R_n protékat proud $4 \mu\text{A}$, je třeba volit jeho hodnotu $125 \text{ k}\Omega$ (volíme $25 \text{ k}\Omega$ pevných a $100 \text{ k}\Omega$ proměnných).

Jak je známo, výsledný odpor paralelní kombinace dvou odporů vypočítáme pomocí výrazu (zatím uvažujeme $R_m = 0$):



Obr. 22. Průběh odporu R_m [Ω] v závislosti na úhlu otočení hřídele v procentech plné dráhy. V poloze 0% je $R_n = 125 \text{ k}\Omega$, v poloze 100% je $R_n = 25 \text{ k}\Omega$. Průběh R_n je lineární.

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(R_i + R_d) \cdot R_n}{(R_i + R_d) + R_n}$$

$$R = \frac{(2500 + 2500) \cdot 125 \cdot 10^3}{2,5 \cdot 10^3 + 2,5 \cdot 10^3 + 125 \cdot 10^3} = \\ = 4808 \Omega.$$

Dosažením zjištěných hodnot jsme vypočítali jako výslednou hodnotu odpor 4808Ω . Je to odpor paralelní kombinace odporů $125 \text{ k}\Omega$ a $5 \text{ k}\Omega$. Z praktického hlediska pro další výpočet bude výhodnější zvolit tuto hodnotu 4800Ω . V dalším výpočtu budeme počítat s větší přesností. Vypočítané hodnoty se totiž vzájemně váží na sebe. Zaokrouhlení vypočítaných hodnot na prakticky únosnou mez (např. na 1% nebo 5%) provedeme až nakonec, při stavbě přístroje. Úpravou původní rovnice pro paralelní odpor dostáváme výraz pro velikost jednoho z dalších odporů paralelní kombinace, známe-li druhý a výsledný

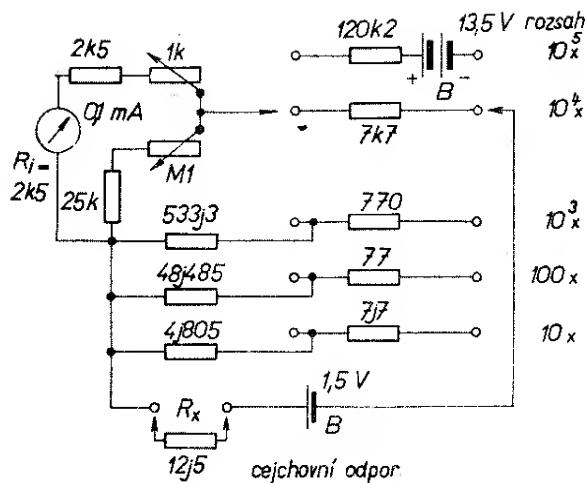
$$R_1 = \frac{R \cdot R_2}{R - R_2} = \frac{4,8 \cdot 10^3 \cdot 125 \cdot 10^3}{120,2 \cdot 10^3} = \\ = 4991,7 \Omega,$$

pomocí kterého vypočítáme, že sériová kombinace měřidla a odporu má být $4991,7 \Omega$.

Nyní je možné vypočítat průběh hodnoty sériového odporu R_m , potřebného k tomu, abychom udrželi výsledný odpor kombinace na hodnotě 4800Ω v rozsahu celé regulace. Při maximálním napětí baterie a proudu celkovou kombinací $124 \mu\text{A}$ bude úbytek napětí na odporu 4800Ω asi 594 mV . Při proudu $100 \mu\text{A}$ musí být odpor větve měřidla $R_m + R_d + R_i = 5940 \Omega$. To znamená, že v tomto případě je nutné zapojit do série s R_d odpor R_m

$$R_{m \max} = 5940 - 4991,7 = 949 \Omega.$$

V dalším budeme předpokládat, že paralelní odpor M_1 má lineární průběh. Vypočítáme nyní průběh odporu v závislosti na úhlu natočení, který by měl mít sériový odpor, aby vyhověl výše uvedené podmínce konstantního odporu 4800Ω . K tomu vycházíme z maximální



Obr. 23. Výsledné zapojení vícerozsahového ohmmetu s kompenzací změn napětí baterie

hodnoty potenciometru M_1 a vypočítáváme příslušnou hodnotu sériového odporu R_m pro hodnoty $95\text{ k}\Omega$, $85\text{ k}\Omega$ atd. potenciometru. Z dosažených výsledků sestojíme graf (viz obr. 22).

Výsledný odpor kombinace jsme určili hodnotou $4800\text{ }\Omega$. Pro základní rozsah (střed stupnice = $12\ 500\text{ }\Omega$) bude třeba sériového odporu $12\ 500 - 4800$, tj. $7700\text{ }\Omega$. To bude základní rozsah, kde násobíme údaj stupnice koeficientem 10^4 . Pro měření $10^5 \times$ základní rozsah bude nutné zvětšit napětí baterie na 10násobek a to připojením další baterie 13.5 V do série s dosavadní. Sériový odpor potom bude $125\ 000 - 4800 = 120\ 200\text{ }\Omega$. Proud pro plnou výchylku na základním rozsahu $10^4 \times$ je $104\text{ }\mu\text{A}$. Pro další nižší rozsah je nutno proud $10 \times$ zvětšit, takže to bude $1040\text{ }\mu\text{A}$, pak 10.4 mA a 104 mA . Aby i při zvětšeném proudu zůstal úbytek napětí na přístroji stejný, je třeba připojit k měřidlu pevný paralelní odpor; jeho hodnota musí být taková, aby jím protékal přebývající proud a aby výsledný úbytek napětí na celé kombinaci zůstával stále $4800 \cdot 104 \cdot 10^{-6} = = 499.2\text{ mV}$.

Jako příklad uvedeme výpočet paralelního odporu pro rozsah 100 . Od proudu 10.4 mA odečteme $104\text{ }\mu\text{A}$. Zbývá 10.296 mA . Pro úbytek napětí 0.4992 V vychází pro hodnotu bočníku odpor $48.4848\text{ }\Omega$. Tato hodnota s para-

lelně připojeným odporem $4800\text{ }\Omega$ původní kombinace dává přesně výslednou hodnotu $48\text{ }\Omega$. Z toho snadno vypočítáme sériový odpor: $1.25 \cdot 100 = 125\text{ }\Omega$, tj. $125 - 48 = 77\text{ }\Omega$. Ostatní vypočítané hodnoty jsou uvedeny na obr. 23.

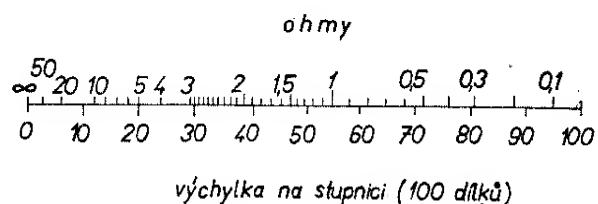
Tím, že máme zajištěn stálý výsledný odpor v sérii s měřidlem, je cejchování stupnice snadnou záležitostí. Poloviční proudová výchylka odpovídá délce 1.25 (viz obr. 24). Ostatní hodnoty můžeme číst z obr. 24. Přitom vycházíme ze skutečnosti, že plná výchylka, tj. 100% , nastane při zapojení odporu $0\text{ }\Omega$. Dílčí výsledky dosazujeme do rovnice pro R_x :

$$R_x = 1.25 \cdot \left(\frac{1 - výchylka}{výchylka} \right),$$

Jako výchylku dosazujeme například délky 100dílkové stupnice, dělené 100. Tak např. údaj na stupnici 60 odpovídá výchylka 0.6 a $R_x = 1.25 - \left(\frac{1 - 0.6}{0.6} \right) = 1.25 \cdot \frac{2}{5} = 0.833$.

Hlavní těžkosti při zhotovování tohoto ohmmetu spočívají v úpravě potenciometru $1\text{ k}\Omega$, aby jeho průběh odpovídal průběhu podle grafu na obr. 22. Všimneme-li si blíže průběhu, zjistíme, že až do 50% rozsahu narůstá odpor poměrně rovnoměrně, teprve ke konci narůstá prudčeji.

Vystačíme proto s uhlíkovým potenciometrem $250\text{ }\Omega$, který opatrným zúžením odpovové dráhy v druhé polovině průběhu doškrabeme na průběh co nejvíce podobný vypočítanému. Tento potenciometr pak doplníme mechanickou spojkou, kterou jej spřáhneme s potenciometrem M_1 .



Obr. 24. Stupnice ohmmetu podle obr. 23

Pro úplnost se zmíníme ještě o zapojení a činnosti proudového ohmmetu. Základní zapojení vidíme na obr. 25. Tentokrát jsou svorky pro připojení měřeného odporu připojeny paralelně k měřidlu. Je jasné, že na rozdíl od předešlého případu poteče měřidlem plný proud při rozpojených svorkách a při zkratovaných svorkách bude proud nulový. Ke správné činnosti je ovšem třeba, aby hodnota sériového odporu R_s byla dostatečně veliká, tak aby bylo možno nahlížet na baterii s odporem jako na zdroj proudu, jehož intenzita se znatelně nemění mezi stavem, kdy jsou měřicí svorky otevřeny anebo zkratovány. Za těchto podmínek je měřený odpor R_x vyjádřen vztahem

$$R_x = R_i \cdot \frac{I_m}{I - I_m}. \quad (7)$$

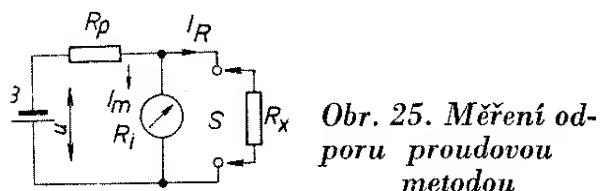
Zde I je proud před připojením odporu R_x a I_m proud, tekoucí měřidlem po připojení neznámého odporu.

Ve většině případů je vnitřní odpor měřidla 100 až několik set Ω . Měřicí rozsah proudového ohmmetu podle předchozího výkladu je především určen vnitřním odporem měřidla. Jeho velikost lze ovšem zmenšit zapojením paralelního odporu k měřidlu (obr. 26), anebo zvětšit zapojením odporu do série podle obr. 27. Při výpočtu základního rozsahu vycházíme opět z poloviční výchylky uprostřed stupnice ohmmetu, tj. když je neznámý odpor R_x právě stejný jako odpor měřidla. Pro zapojení podle obr. 26 dosazujeme do rovnice (7) za R_i hodnotu

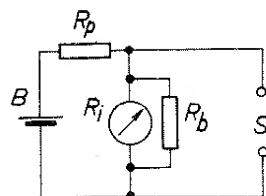
$$R_i' = \frac{R_i \cdot R_b}{R_i + R_b}$$

a v případě použití zapojení podle obr. 27 se dosazuje za R_i hodnota

$$R_i'' = R_i + R_s.$$



Obr. 25. Měření odporu proudovou metodou



Obr. 26. Uprava rozsahu proudového ohmmetu k měření malých odporů

Pro správnou činnost proudového ohmmetu by měl být předřadný odpor mnohokrát větší než odpor měřidla. Pokud není splněna podmínka konstantního proudu měřidla, je nutné ohmmetr individuálně cejchovat.

Pro běžný odpor měřidla asi $100 \div 10\ 000 \Omega$ to znamená připojovat do série odpor alespoň $30 \times$ větší, tj. $3 \div 30 \text{ k}\Omega$, raději ale ještě více. To znamená, že pak rostou nároky na napětí napájecí baterie. V klidovém stavu teče proudovým ohmmetrem neustále proud, což je někdy nevhodné.

Pro běžnou praxi v domácí dílně vystačíme téměř výlučně s ohmmetrem napěťovým. V případě nutnosti je pak výhodnější zapojení proudového ohmmetu případ od případu improvizovat pomocí vhodného, např. i vícerozsahového měřicího přístroje.

IV. 1. Malý příruční měřicí přístroj

Podle předchozích úvah a po shlednutí továrně vyráběných přístrojů by se mohlo zdát, že nemá vůbec smysl stavět malé vícerozsahové přístroje, když všechny o kterých byla dosud řeč, jsou tak složité a kladou takové nároky při návrhu.

Důkazem toho, že to není zcela oprávněná obava, je malý měřicí přístroj na obr. 28. V malé plechové krabičce rozměrů $68 \times 128 \text{ mm}$ lze umístit několikarozsahový přístroj pro stejnosměrné napětí a proud, střídavé napětí, doplněný možností měření odporů. Ze schématu na obr. 29 vyplývá, že přístroj je řešen co nejjednodušejí. Základem celého přístroje je malé inkurantní měřidlo s rozsahem $400 \mu\text{A}$ na plnou výchylku a vnitřním odporem 900Ω (lze jej nahradit přístrojem DR 45 nebo jakýmkoliv citlivějším, který je po ruce). Celkový bočník R_b ($R_1 \div R_4$) je vypočítán tak, aby základ-

ní rozsah měřidla se zaokrouhlil z hodnoty 0,4 mA na přesně 0,5 mA. Jednotlivé proudové rozsahy byly voleny v poměru 1 : 10. Není to sice ideální dělení s ohledem na čtení malých hodnot, ale pro běžné účely lze s tímto rozdělením dobře vystačit. Proudové rozsahy jsou tedy 0,5 mA, 5 mA, 50 mA a 500 mA.

Aby i odečítání na napěťových rozsazích bylo stejné jako na proudových, byl vývod pro 0,5 mA rozšířen odporem R_5 pro současné měření napětí 0,5 V. Jelikož je úbytek napětí na samotném měřidle jen $0,4 \text{ mA} \cdot 900 \Omega = 0,36 \text{ V}$, znamená to doplnit rozsah na hodnotu 0,5 V dodatečným odporem. Odpor $R_5 = 280 \Omega$ doplňuje tedy chybějící úbytek napětí do hodnoty 0,5 V. Ostatní předřadné odpory pro vyšší napěťové rozsahy se vypočítávají již uvedeným způsobem. Aby bylo jasné jak bylo postupováno, zopakujeme ještě jednou celý postup při návrhu.

Základní rozsah měřidla je 0,4 mA a $R_i = 900 \Omega$. Úbytek napětí na měřidle je tedy 0,36 V.

Máme měřit (s bočníkem) proud 0,5, 5, 50 a 500 mA. Poměr jednotlivých násobků n tedy je:

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{0,5}{0,4} = 1,25 & n_2 &= \frac{5}{0,4} = 12,5 \\ n_3 &= \frac{50}{0,4} = 125 & n_4 &= \frac{500}{0,4} = 1250. \end{aligned}$$

Celkový odpor bočníku tedy je

$$R_b = \frac{R_i}{n_1 - 1} = \frac{900}{0,25} = 3600 \Omega.$$

Odpor jednotlivých odboček je

$$R_x = R_i \cdot \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right) \cdot \left[\frac{1}{n_x} - \frac{1}{n_{x+1}} \right],$$

tedy

$$\begin{aligned} R_1 &= 900 \cdot \frac{1,25}{0,25} \cdot \left[\frac{1}{1,25} - \frac{1}{12,5} \right] = \\ &= 4500 \cdot \frac{9}{12,5} = 3240 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= 4500 \cdot \left[\frac{1}{12,5} - \frac{1}{125} \right] = \\ &= 4500 \cdot \frac{9}{125} = 324 \Omega \end{aligned}$$

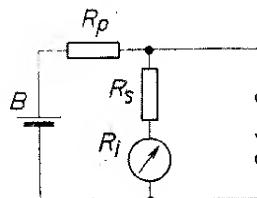
$$\begin{aligned} R_3 &= 4500 \cdot \left[\frac{1}{125} - \frac{1}{1250} \right] = \\ &= 4500 \cdot \frac{9}{1250} = 32,4 \Omega \\ R_4 &= 4500 \cdot \left[\frac{1}{1250} - 0 \right] = \\ &= 4500 \cdot \frac{1}{1250} = 3,6 \Omega. \end{aligned}$$

Součet všech vypočítaných hodnot je dohromady 3600Ω . Je tedy výpočet správný.

Předřadné odpory se počítají pro souhrnný proud 0,5 mA. Jednotlivé úbytky napětí a odpory jsou:

$$\begin{aligned} R_5 &= \frac{0,5 \text{ V} - 0,36 \text{ V}}{0,5 \text{ mA}} = \frac{0,14 \text{ V}}{0,0005 \text{ A}} = \\ &= 280 \Omega \\ R_6 &= \frac{5 \text{ V} - 0,5 \text{ V}}{0,5 \text{ mA}} = \frac{4,5 \text{ V}}{0,0005 \text{ A}} = \\ &= 9000 \Omega \text{ atd.} \end{aligned}$$

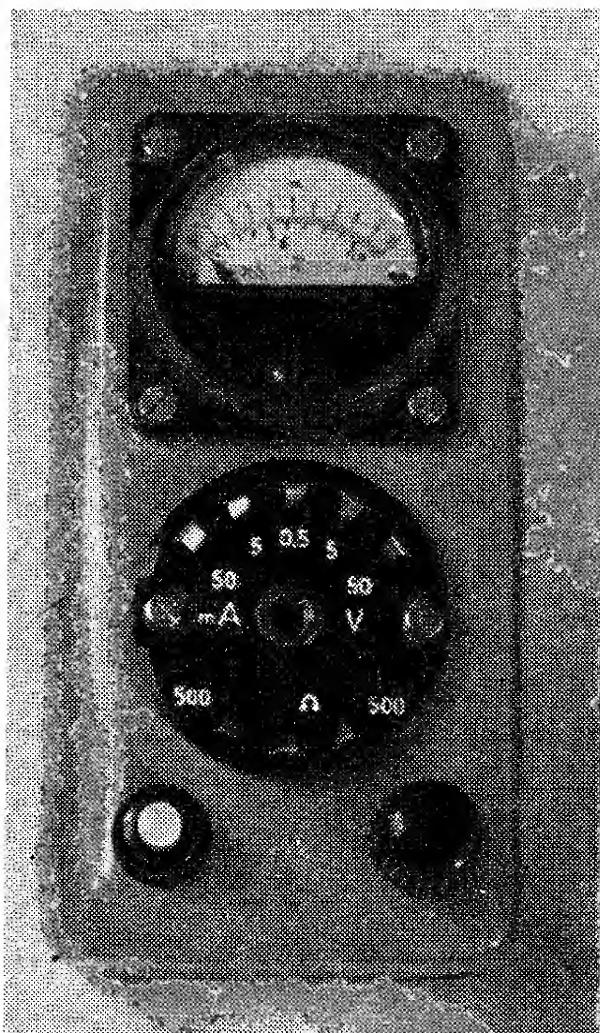
Pro střídavá napětí a proudy byl zvolen poněkud neobvyklý způsob řešení. Do série s přívodem k měřidlu je zapojena jediná germaniová dioda 1NN40. Je jasné, že jediná germaniová dioda má nevýhody, o kterých byla již dříve řeč. Je dobré si uvědomit, že kuproxový usměrňovač tak malých rozměrů, aby vhodně zapadal do volného prostoru v krabičce, se nepodaří většině zájemců opatřit. Použijeme-li jednoduchý, navíc ještě germaniový ventil, vznikne patrné zhuštění začátku stupnice na nízkých rozsazích. Ovšem střídavé napětí měříme především na rozsazích 5 V až 500 V, kde sériový odporník je již značný. Potom tento nedostatek ustupuje do pozadí. Kdybychom ovšem zapojili diodu bez jakýchkoliv dalších opatření do série s měřidlem, ukazoval by



Obr. 27. Úprava rozsahu proudového ohmmetru k měření větších odporů

přístroj výchylku odpovídající střední hodnotě střídavého proudu. Zapojením elektrolytického kondenzátoru $50 \mu\text{F}$ paralelně k měřidlu přesuneme měření do oblasti špičkového usměrňování a výchylka měřidla stoupne. Hotový přístroj cejchujeme, ale v efektivní hodnotě a druhou stupnicí nakreslíme pod průběh stupnice pro stejnosměrný proud. Přepínání ze stejnosměrného rozsahu na střídavý se uskutečňuje jednoduše rozpojením spínače S .

K měření odporů se používá nejjednodušší metody: baterie a předřadného odporu, zapojeného do série s měřidlem. Bočníkem, který je trvale připojen, se upravuje výchylka měřidla na $0,5 \text{ mA}$. Pro baterii $1,5 \text{ V}$ potřebujeme proto dodatečný předřadný odpor hodnoty

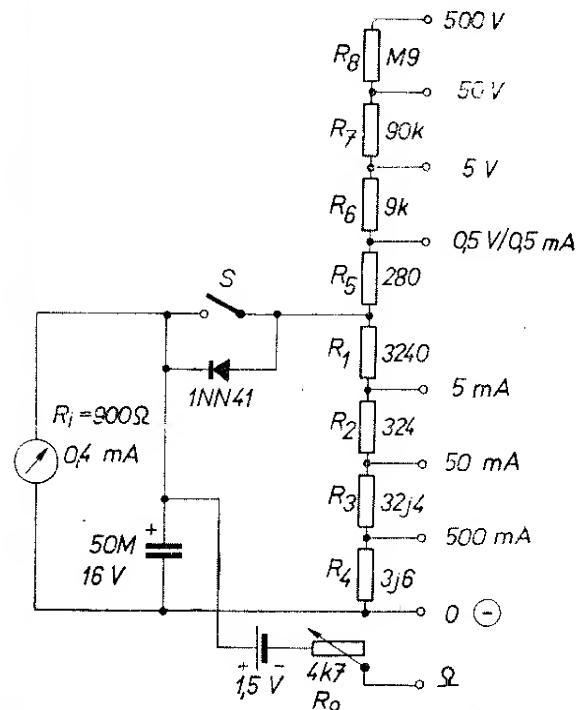


Obr. 28. Malý příruční měřicí přístroj

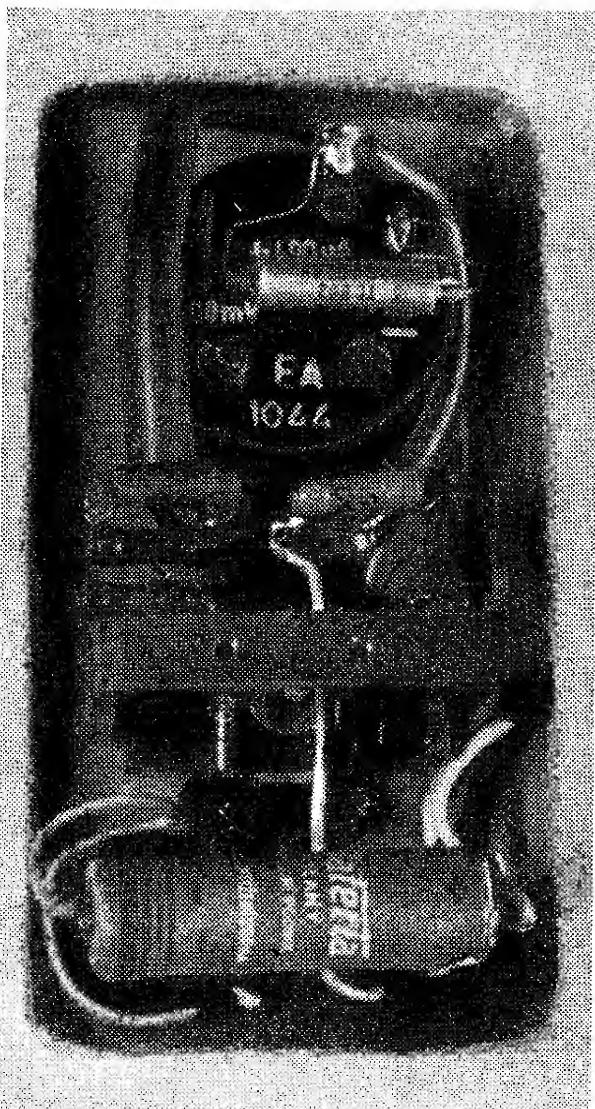
$$R_p = \frac{1,5 \text{ V}}{0,5 \text{ mA}} - R_i = 3000 - 900 = 2100 \Omega.$$

Jako odpor R_9 byl zvolen miniaturní drátový potenciometr hodnoty $4,7 \text{ k}\Omega$, která je v řadě TP 680 4K7.

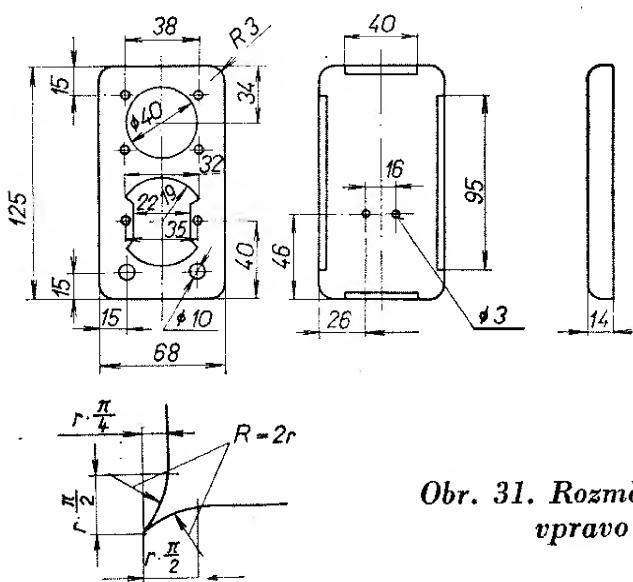
Aby nebylo nutné tak jednoduchý přístroj komplikovat spolehlivým přepínačem, řešilo se přepínání změnou polohy banánu, zasouvaného do některé ze zdírek elektronkové objímky, označených příslušným proudem nebo napětím. Jak je z obr. 28 vidět, bylo k tomu účelu použito elektronkové objímky pro klíčové elektronky řady 11 (Telefunkem), která svými rozměry nejlépe vyhovovala. Do otvoru pro klíč elektronky je izolovaně upevněna obyčejná zdírka pro banánek o $\varnothing 4 \text{ mm}$. Zdírka je společným vývodem, označeným ve schématu na obr. 29 jako „-“. Upravený kolíček banánu, tj. přesoustružený na $\varnothing 3 \text{ mm}$ a zkrácený na délku 10 mm , se pak s druhým přívodním vodičem zasouvá do některého z otvorů původně určeného pro kolíček patice elektronky. Uspořádání je dobře patrné



Obr. 29. Zapojení příručního měřicího přístroje



Obr. 30. Pohled na montáž součástek malého měřicího přístroje



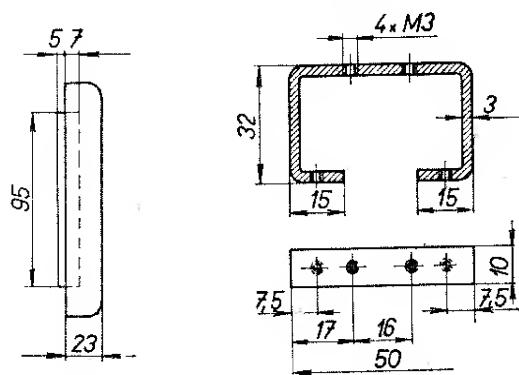
Obr. 31. Rozměrový náčrtek skřínky měřicího přístroje, vpravo je úhelník k uchycení dna krabice

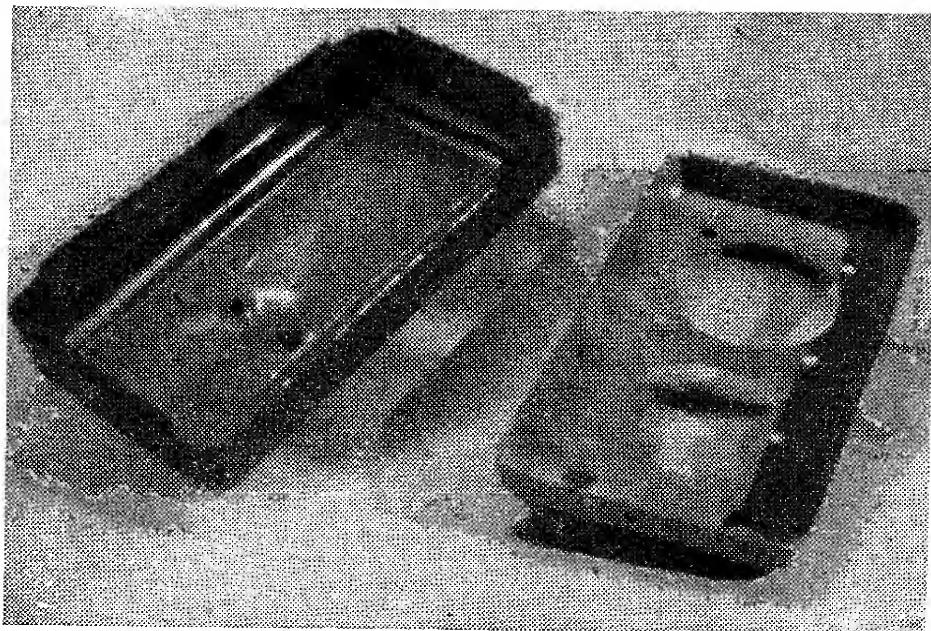
z obrázku, takže nepotřebuje dalšího komentáře. Pod objímkou vlevo je na obr. 28 malý tlačítkový spínač (podobný, jako bývá ve stolních lampách). Na pravé straně se malým knoflíčkem otáčí potenciometr R_9 , kterým se nastavuje plná výchylka při měření odporu (při zkratovalých přívodních šnúrách).

Obr. 30 poskytuje představu o tom, jak je provedena montáž součástek uvnitř přístroje.

Rozměry skřínky jsou na obr. 31. Skřínka je z ocelového plechu tloušťky 0,8 mm. Rohy jsou zaobleny a natvrdo pájeny podle detailu na obr. 31. Pro lepší mechanickou pevnost jsou po stranách spodní části krabičky bodově přivařeny pásky, které současně centrují víko krabičky a zpevňují boční strany (obr. 32).

Kdo by neměl možnost zhotovit si skříňku z ocelového plechu a natvrdo ji zapájet mosazí, může použít i silnějšího pocíňovaného plechu, který snadno získá rozřezáním krabičky od konzerv. Rohy pak podloží kouskem plechu a celek propájí cínovou pájkou. Také různé nerovnosti povrchu se snadno vyplní cínovou pájkou. Po obroušení a sličování obou polovin nalakujeme po přetmelení krabičku vypalovacím lakem, nebo stříkáme (třeba fixírkou na výkresy) nitrolakem vhodného odstínu. Zvlášť vzhledná je kombinace světle šedivého víka a tmavě šedivé spodní části skřínky.



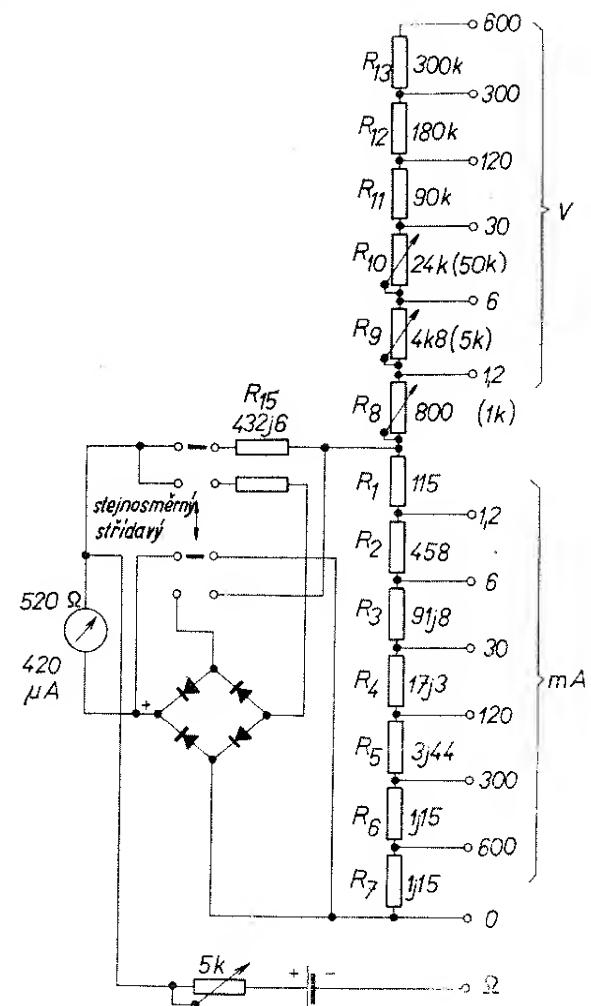


Obr. 32. Hotová skříňka měřicího přístroje

IV. 2. Praktický univerzální amatérský měřicí přístroj

Z malého výprodejního měřidla lze při trošce zručnosti zhotovit i přístroj dokonalejší, jak je patrné z dalších snímků. Všimneme si nejprve zapojení. Z hlediska celkového uspořádání se tento podobá přístroji z obr. 29. Rozdíl je především ve větším počtu proudových i napěťových rozsahů. Pro měření na střídavých rozsazích je přístroj opatřen kuproxovým usměrňovačem, tzv. „švábem“. Ten vyžaduje poněkud složitější způsob přepínání. Jak ze zapojení na obr. 33 vyplývá, je nutné přepínat alespoň čtyři vývody. Výborně se k tomu účelu hodí malý segment hvězdicového přepínače, který se občas objevuje ve výprodeji. Je to v podstatě polovina hvězdicového přepínače typu TA, jehož rotor je prodloužen v podobě páčky, kterou lze přemisťovat do dvou poloh. Přepínač funguje jako čtyřpólový, dvoupolohový (vždy dva a dva póly).

Pozoruhodností přístroje je úprava na větší stupnici. Byla provedena tak, že měřidlo bylo vymontováno z pouzdra a přišroubováno na základní destičku (obr. 34). Ručka měřidla se odstraní a nahradí nožovou, zhotovenou z tenké hliníkové folie. Jde o práci poměrně náročnou, kterou lze obejít tím, že ručku zhotovíme



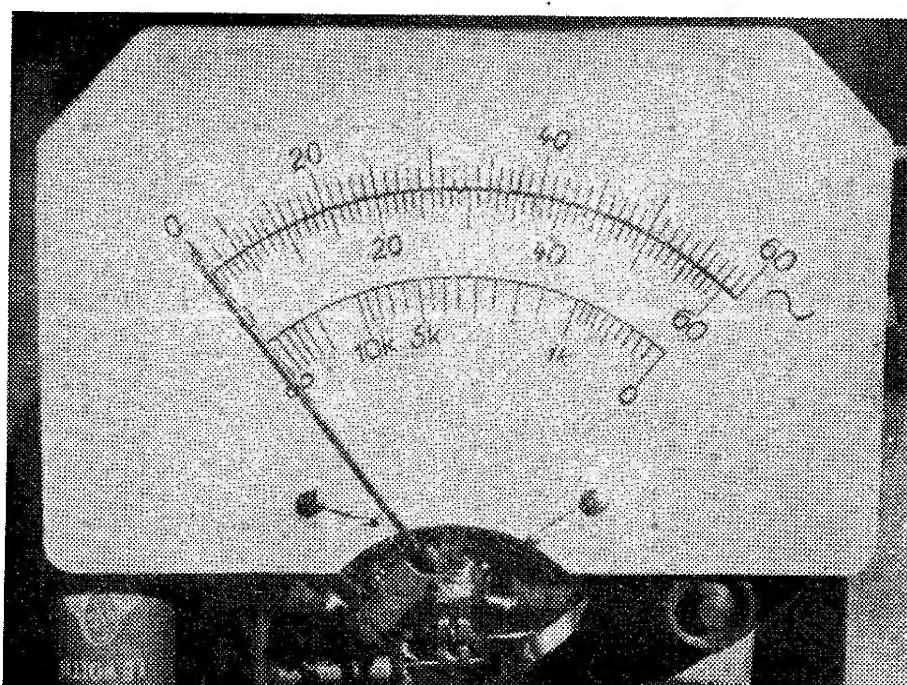
Obr. 33. Zapojení univerzálního amatérského měřicího přístroje. Neoznačený odPCR je R_{14} (pod odporem R_{15}), jeho velikost viz text



Obr. 34. Úprava měřidla amatérského měřicího přístroje

např. ze skleněného vlákna vytaženého nad plamenem, anebo z dlouhých tuhých silikonových vláken o $\varnothing 0,2$ mm, která se občas porůznu vyskytuje (např. na někter-

rých vánočních ozdobách apod.). Uvádíme tyto možnosti hlavně jako upozornění na to, jak si lze i v domácích podmírkách vypomoci.



Obr. 35. Stupnice měřicího přístroje

Namontováním nové ručky nastane porušení rovnováhy systému. Je tedy třeba vyvážení systému znova opakovat a to kapkou cínu, nanesenou na konce vyvažovacích vahadel. Je to práce nimiravá, ale vyplatí se dělat ji poctivě.

Stupnici přístroje nahradíme větší. Použijeme k tomu tenkého milimetrového pertinaxu, nebo dokonale rovného hliníkového plechu, který po jedné straně nastříkáme bílou barvou na stupnice, a to pokud možno matovou. Tento lak vytváří na povrchu jen tenký film, takže se musí nanášet na dokonale hladký povrch, nemají-li později být na stupnici patrné různé nedostatky, narušující bezvadný vzhled.

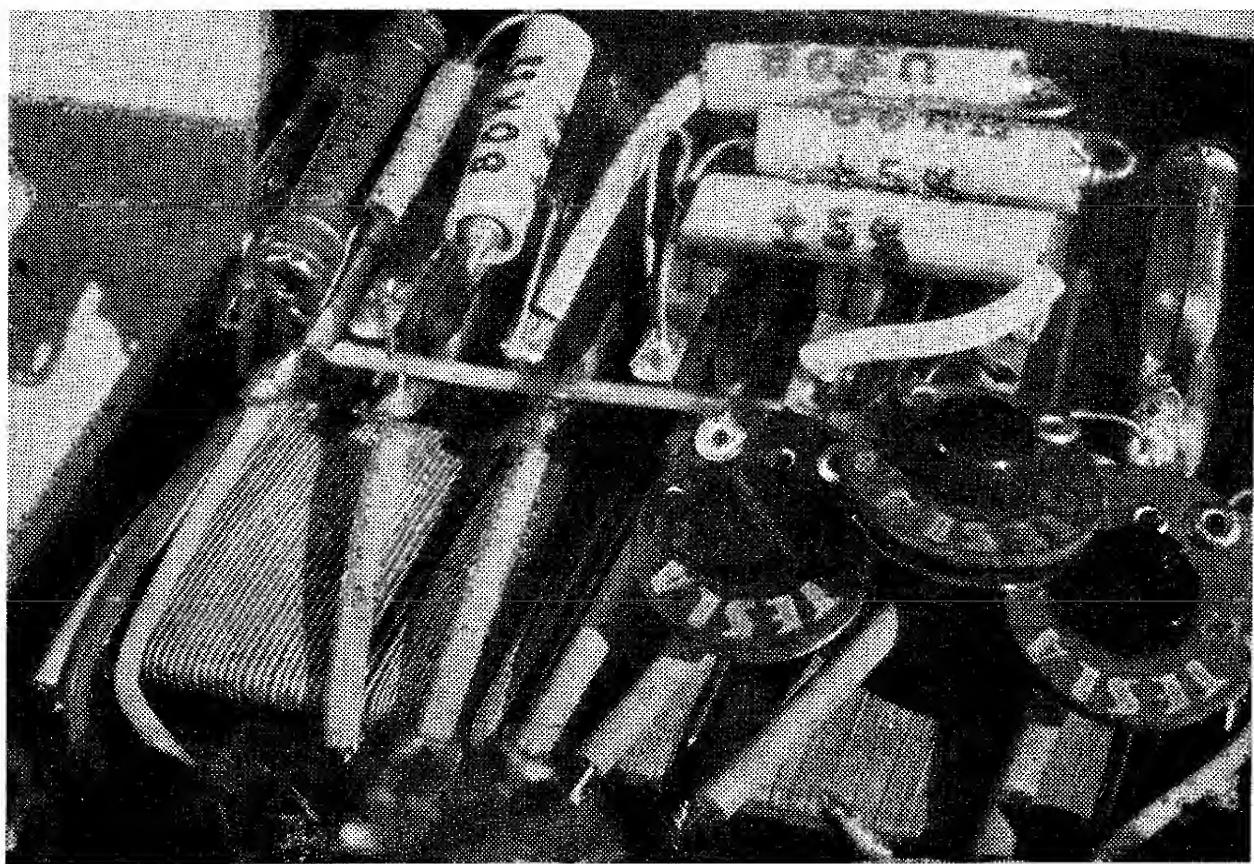
Cejchuje se nejlépe porovnáním výchylky s jiným zapůjčeným měřicím přístrojem. Že i amatérsky kreslená stupnice, zhotovená za pomoci minimálních pomůcek, může mít pěkný vzhled, je patrné z obr. 35.

Celková mechanická úprava je po-

dobná předchozí. Místo kovové krabičky bylo tentokrát použito bakelitové krabičky, kterou lze běžně zakoupit v obchodech. Krabička půdorysného rozměru 94×133 mm byla seříznuta na výšku 35 mm. Pertinaxová destička síly 1,5 mm slouží jako nosná pro součástky přístroje a současně i jako dno krabičky. Podél jedné strany pertinaxové desky je namontována lišta se 14 zdírkami. Zasouváním banánek do zdírek se volí rozsahy přístroje, podobně jako v předešlém případě. Detail bočníků, vinutých na pertinaxovém pásku a předřadných odporů na dolní straně vidíme na obr. 36. Pro nižší rozsahy je část předřadných odporů nahrazena nastavitelnými odporovými trimry typu WN79025 nebo 26. Toto řešení není sice ideální vzhledem k neveliké stálosti trimrů, výhodou však je snadné nastavení a cejchování.

Ještě krátkou zmínku o postupu při určování hodnot jednotlivých odporů.

Podle již dříve vytýčené zásady by-



Obr. 36. Úprava bočníků měřicího přístroje

chom postupovali tak, že vypočítáme nejdříve sériové odpory R_{14} a R_{15} . K tomu je třeba zvolit základní rozsah, např. 3 V. Měřidlo má tyto parametry:

$$R_i = 520 \Omega, I = 0,42 \text{ mA}, U_m = 0,2184 \text{ V.}$$

Pro stejnosměrný rozsah 3 V by bylo třeba odporu R_{15} s hodnotou

$$R_{15} = \frac{3 - 0,2184}{0,42 \cdot 10^{-3}} = \frac{2,7816 \cdot 10^{-3}}{0,42} \doteq 6623 \Omega$$

a pro rozsah střídavý

$$R_{14} = \frac{3 - 0,2184}{1,1 \cdot 0,42 \cdot 10^{-3}} = \frac{2,7816 \cdot 10^{-3}}{0,462} \doteq 6000 \Omega$$

s tím, že by se tento odpor musel upravit podle skutečných ztrát, protože diody mají charakteristiky dosti odlišné.

Největší přípustnou odchylku stupnice (tj. odchylku měřené hodnoty od hodnoty odečítané na lineární stupnici) zvolme za předpokladu, že použijeme např. Ge diody,

$$0,5 \text{ V na rozsahu 3 V. Pak } k = \frac{3}{0,5} = 6.$$

Maximální chybu při přechodu ze stupnice na další stupnici stanovíme $\pm 2,5 \%$, tj. $\delta = 0,05$. Opravená hodnota $\delta' = k \cdot \delta = 0,05 \cdot 6 = 0,3$. Celkový odpor bočníku R_b by pak měl být nejvýše

$$R_b = \frac{R_{c3} \cdot \delta'}{1 - \delta'} = \frac{7140 \cdot 0,3}{0,7} = 3060 \Omega.$$

Proudová spotřeba vzroste při tomto bočníku

$$n_1 - 1 = \frac{R_{c3}}{R_b} = \frac{7140}{3060} \doteq 2,34$$

a z toho $n_1 = 2,34 + 1 = 3,34$. Základní rozsah by tedy byl $0,42 \cdot 3,34 = 1,405 \text{ mA}$.

To je nevhodná hodnota. Raději máme hodnoty, které jsou celistvé nebo celistvými násobky 4 nebo 5 (např. 1,2 mA apod.).

Máme tedy možnost zvolit bočník o něco větší a upravit celkovou proudovou

spotřebu na 1,2 mA. Chyba se tím sice zvětší, ale zůstane stále ještě ve velmi dobře použitelných mezích:

$$n_1 = \frac{1,2}{0,42} = 2,86 \text{ a}$$

$$R_b = \frac{R_{c3}}{n_1 - 1} = \frac{7140}{1,86} = 3840 \Omega.$$

Nyní by následoval obvyklý postup při určování hodnot odporů R_1 až R_7 i odporu R_8 až R_{13} podle již vyložených zásad. Přitom bychom vycházeli ze základního rozsahu 3 V a proudu měřidla 0,42 mA při výpočtu bočníků a z hodnoty 3 V / 1,2 mA při výpočtu předřadních odporů.

Nepříjemné ovšem je, že celkový napěťový úbytek při měření proudu zůstává alespoň 3 V a vzniká u vyšších proudových rozsahů zhruba na 4,5 V (odpory R_1 až R_6 jsou v sérii s měřidlem a vzniká na nich vznikající napěťový úbytek).

To je velmi nepříjemná skutečnost, která je způsobena především malou citlivostí měřidla a celkem malým poměrem n , o který se zvětšuje celková proudová spotřeba.

Východisko je jen jediné: snížit napěťový úbytek na měřidle na základním rozsahu na minimální přijatelnou míru (např. 0,4 V). Potom se ovšem musíme postarat jiným způsobem o to, aby linearity a souhlas stupnice nebyly příliš narušeny. Jedna z možných cest vyplývá se schématu na obr. 33. Do série s měřidlem a bočníkem se zapojí odpor R_8 , kterým se základní rozsah zvětší jen pro napěťové rozsahy. Pro proudové rozsahy zůstává základní rozsah nízký. Navíc použijeme místo Ge diod kuproxové, ventily, u kterých odchylka od lineárního průběhu je menší.

Zvolíme tedy základní napěťový rozsah 0,4 V. Vypočítáme nejprve kruhový bočník a odpor R_{15} pro měření stejnosměrného napětí a proudu

$$R_c = R_{15} + R_i$$

$$R_c = \frac{0,4 \text{ V}}{4,2 \cdot 10^{-4}} = 952,6 \Omega$$

$$R_{15} = 952,6 - 520 = 432,6 \Omega.$$

Celkový bočník vypočítáme pro základní proud 1 mA (s ohledem na předřadné odpory a celkovou spotřebu přístroje při měření napětí).

$$\text{Vychází hodnota } R_b = \frac{R_c}{n_1 - 1} \doteq 689 \Omega.$$

Pak ze zvolených proudových rozsahů vypočítáme jednotlivé násobky n :

$$n_1 = \frac{1 \text{ mA}}{0,42 \text{ mA}} = 2,381,$$

$$n_2 = \frac{1,2 \text{ mA}}{0,42 \text{ mA}} = 2,86,$$

$$n_3 = \frac{6 \text{ mA}}{0,42 \text{ mA}} = 14,3,$$

$$n_4 = \frac{30 \text{ mA}}{0,42 \text{ mA}} = 71,3,$$

$$n_5 = \frac{120 \text{ mA}}{0,42 \text{ mA}} = 286,$$

$$n_6 = \frac{300 \text{ mA}}{0,42 \text{ mA}} = 713,$$

$$n_7 = \frac{600 \text{ mA}}{0,42 \text{ mA}} = 1430.$$

Nyní odpory (kde $R_i = R_c$ a n_x vyjádříme zlomky celých čísel):

$$R_x = R_i \left(\frac{n_1}{n_1 - 1} \right) \cdot \left[\frac{1}{n_x} - \frac{1}{n_{x+1}} \right]$$

$$\begin{aligned} R_1 &= 952,6 \cdot \frac{21}{29} \left[\frac{21}{50} - \frac{21}{60} \right] = \\ &= 952,6 \cdot \frac{50}{29} \left[\frac{126 - 105}{300} \right] = \\ &= 1642 \cdot \frac{21}{300} \doteq 115 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= 1642 \left[\frac{21}{60} - \frac{21}{300} \right] = \\ &= 1642 \cdot \frac{84}{300} \doteq 459 \Omega \end{aligned}$$

$$R_3 = 1642 \left[\frac{21}{300} - \frac{21}{1500} \right] =$$

$$= 1642 \cdot \frac{84}{1500} = 91,8 \Omega$$

$$R_4 = 1642 \left[\frac{21}{1500} - \frac{21}{6000} \right] =$$

$$= 1642 \cdot \frac{63}{6000} \doteq 17,3 \Omega$$

$$R_5 = 1642 \left[\frac{21}{6000} - \frac{21}{15000} \right] =$$

$$= 1642 \cdot \frac{31,5}{15000} \doteq 3,44 \Omega$$

$$R_6 = 1642 \left[\frac{21}{15000} - \frac{21}{30000} \right] =$$

$$= 1642 \cdot \frac{21}{30000} \doteq 1,15 \Omega$$

$$R_7 = 1642 \left[\frac{21}{30000} - 0 \right] =$$

$$= 1642 \cdot \frac{21}{30000} \doteq 1,15 \Omega$$

$$R_b = 115 + 459 + 91,8 + 17,3 + 3,44 + 1,15 + 1,15 = 688,84 \Omega, \text{ což je dobrá shoda.}$$

Stejně vypočítáme odpory $R_8 \div R_{13}$

$$R_8 = \frac{1,2 \text{ V} - 0,4 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = \frac{0,8}{1 \cdot 10^{-3}} = 800 \Omega$$

$$R_9 = \frac{6 \text{ V} - 1,2 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = \frac{4,8}{1 \cdot 10^{-3}} = 4,8 \text{ k}\Omega$$

atd.

Pro střídavé rozsahy provedeme tuto kontrolu chyby:

Víme, že R_s je složen z odporů $R_{14} + R_i +$ vnitřní odpor ventilu. Ten odhadneme asi na 200Ω při plné výhylce (v případě pochyb zjistíme jeho hodnotu raději předběžným měřením). Také odpor R_{14} odhadneme a to asi na 70Ω . Pak bude R_s

$$\begin{aligned} R_s &= R_{14} + R_i + R_v = 70 + 520 + 200 = \\ &= 790 \Omega. \end{aligned}$$

Na nejmenším napěťovém rozsahu 1,2 V je v sérii s R_s paralelní kombinace R_b a R_s .

$$R_b//R_s = \frac{800 \cdot 689}{1489} \doteq 370 \Omega.$$

V krajním případě vzroste tento odpor na hodnotu $R_b = 689 \Omega$. Je tedy celková změna odporu asi 320Ω .

Minimální odpor tedy je $790 + 370 = 1160 \Omega$ a maximální $790 + 689 = 1479 \Omega$.

Střední hodnota odporu je 1320Ω a změna odporu $\pm 160 \Omega$. To je v procentech $\frac{160}{1320} \cdot 100 \doteq 12 \%$.

Vidíme však, že tato změna odpovídá i procentuální odchylce při přechodu ze stupnice na stupnici.

Protože poměr chyby $0,13 \div 0,16 \text{ V}$ od lineárního průběhu u použitého kuproxového ventilu k plnému základnímu rozsahu $0,4 \text{ V}$ je asi $k \doteq 2,5$ až $k \doteq 3$, odpovídá skutečná chyba vztázená na plnou výchylku poměru

$$\frac{\text{změna odporu} (\%)}{k} = \frac{12 \%}{2,5} \text{ až } \frac{12 \%}{3},$$

tj. asi $4 \div 5 \%$.

To je sice chyba, kterou je nutno vyložit při přesnějším měření, pro amatérská měření však bohatě vystačíme i s touto hodnotou.

Pokud by takováto chyba vadila, je možné částečné nápravy dosáhnout, omezíme-li se na minimální rozsah střídavého napětí 6 V a podle toho cejchujeme i stupnicí (na rozsahu 30 V). Pak celková chyba značně klesne.

Jako výhoda zůstává malý napěťový úbytek při měření proudu, který je vždy výhodný.

Ještě připomínka k odporu R_{14} . Odparem R_{15} doplňujeme odpor měřidla tak, aby celkový úbytek napětí dosáhl $0,4 \text{ V}$. Odparem R_{14} je potom nutno opravit úbytek na takovou hodnotu, aby při připojení střídavého sinusového napětí s efektivní hodnotou $0,4 \text{ V}$ ukazoval přístroj plnou výchylku.

Vidíme tedy, že návrh měřicího přístroje pro stejnoměrné a hlavně střídavé měření klade jisté nároky na použité součástky a je vždy do značné míry výsledkem vhodné volby řady kompromisů.

Je pak na konstruktérovi, aby měl cit pro vhodnou volbu základních parametrů a nestupňoval bezdůvodně své požadavky, nekomplikoval zbytečně svou práci a nezdražoval tak svůj výrobek.

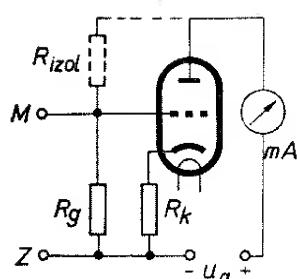
V. 1. Elektronkové voltmetry

Ručkové měřicí přístroje, o kterých zde byla dosud řeč, mají jeden základní nedostatek. Při připojení k měřenému objektu nutně spotřebovávají část elektrického výkonu k tomu, aby vůbec mohly vychýlit ručku. Je celá řada případů, kdy je tato skutečnost tíživá a zkresluje výsledek měření. Míru zatížení měřeného obvodu určujeme pro měření napětí v hodnotě odporu na 1 V měřidla. Určíme jí jako převratnou hodnotu základního prourového rozsahu měřidla. Např. Avomet se systémem o citlivosti $500 \mu\text{A}$ má odpor na $1 \text{ V} = 1/500 \cdot 10^{-6} = 2 \text{ k}\Omega/\text{V}$. Přístroj Metra DU 10 má již citlivější systém ($20 \mu\text{A}$) a odpor na $1 \text{ V} = 50 \text{ k}\Omega/\text{V}$. Je však mnoho zapojení, kde záleží na tom, aby při měření se měřený obvod prakticky nezatěžoval. Jinými slovy požadujeme bezproudové měření napětí, nebo alespoň měření s minimálním odběrem proudu, což je shodné s požadavkem na pokud možno maximální vnitřní odpor připojeného měřicího přístroje. V laboratořích, kde záleží na přesném měření, se k tomu používá tzv. kompenzační metody. Je to metoda velice přesná, ale zdlouhavá a vyžaduje dosti nákladné vybavení. V běžné praxi proto nezbývá než sáhnout k elektronkovému voltmetru.

Elektronkový voltmetr je v zásadě zařízení, měničí impedanci ručkového měřicího přístroje, jehož účelem je co nejvíce odlehčit při měření zdroj napětí, tj. měřený obvod.

Než se pustíme do podrobnějšího výkladu zapojení, vysvětlíme si alespoň v hrubých rysech princip elektronkového voltmetu. Předesíláme, že elektronkový voltmetr je svou povahou stejnosměrný měřicí přístroj, který v případě měření střídavých napětí je nutno doplnit usměrňovačem.

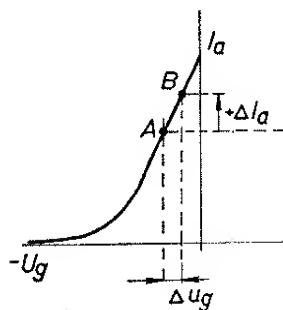
Do anodového obvodu elektronky zapojíme podle obr. 37 miliampérmetr. Pracovní bod elektronky nastavíme před-



Obr. 37. Princip elektronkového voltmetru

pětím mřížky (např. katodovým odporem) na střed přímkové části charakteristiky $I_a = F(U_g)$. Miliampérmetrem nyní naměříme klidový anodový proud v bodě A (obr. 38). Přivedeme-li mezi svorky M a Z (mřížku a zem) stejnosměrné napětí, změní se intenzita anodového proudu. Vyplývá to i z křivky na obr. 38, kde je vyznačena kladná změna (kladný přírůstek) anodového proudu pro kladnou změnu mřížkového napětí. Anodový proud vzroste z hodnoty v bodě A na hodnotu v bodě B . Jinými slovy: výchylka měřidla se zvětšila.

Změnou polarity napětí, přivedeného na mřížku, klesá anodový proud a změna proudu $-AI_a$ je mírou pro měřené napětí. Tyto vztahy jsou jednoznačné a bylo by v zásadě možné cejchovat miliampérmetr v anodovém obvodě podle napětí, přivedeného na mřížku. Výhoda, pro kterou bychom volili toto zapojení, je především v tom, že mřížkový svod R_g lze volit velký až do $20 \text{ M}\Omega$ (např. pro EF86). S ohledem na to, že lze tímto způsobem ještě dobře odečítat výchylky měřidla při vstupním napětí okolo 1 V, vyplývá z toho i vnitřní odpor takového měřicího přístroje $= 20 \text{ M}\Omega$ na 1 V. To je hodnota, kterou by se přímým měřením s přístrojem s otočnou cívkou nikdy nepodařilo dosáhnout. V praxi je několik příčin, pro které nevolíme tak velké mřížkové svody. Obvykle používáme odpor jen $10 \text{ M}\Omega$.

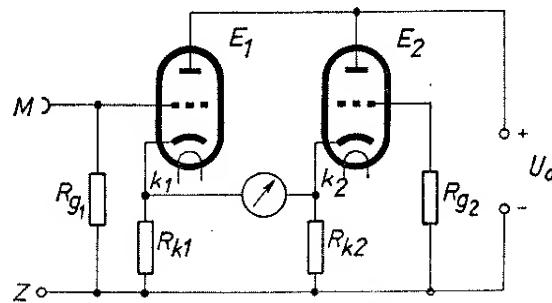


Obr. 38. Vliv změny
mřížkového předpě-
tí na anodový proud
elektronky

Zapojení podle obr. 37 má i nevýhodu, a to, že výchylka pro nulové vstupní napětí je někde uprostřed stupnice měřidla. Měřidlem protéká totiž stále anodový proud. Tento nedostatek lze snadno odstranit zapojením podle obr. 39, ve kterém doplníme elektronku E_1 pomocnou elektronkou E_2 . Vytvoříme tak můstkové zapojení z elektronkových systémů E_1 a E_2 , a katodových odporů R_{k1} a R_{k2} . Měřidlo zapojíme do úhlopříčky můstku. Potom ve vyváženém stavu neprotéká měřidlem žádný proud a výchylka zůstává nulová. Připojením kladného napětí na vývody M a Z vzroste v souladu s obr. 38 anodový proud elektronky E_1 . Vznikne větší napěťový úbytek na katodovém odporu R_{k1} , tj. napětí na katodě k_1 vzroste. Tím se naruší rovnováha můstku a ručka měřidla se vychýlí. Velikost výchylky bude i v tomto případě závislá na velikosti připojeného napětí. Získáme tak výhodu obvyklého cejchování přístroje, které začíná u levého okraje stupnice.

Přepojíme-li polaritu vstupního napětí, stačí přepolovat měřidlo. Aby výchylka i průběh stupnice byly v obou případech stejné, musí se pracovní bod elektronky volit uprostřed rovné čáti charakteristiky $I_a = F(U_g)$. Vstupní napětí větší, než jaká způsobují plnou výchylku, lze měřit po zapojení vhodného děliče napětí před vstupní svorky. Na elektronku pak působí vždy jen taková napětí, při jakých byla cechována na základním rozsahu.

Stabilitu zapojení, stabilitu nastavení nuly, nezávislost na změnách napájecího napětí i linearitu průběhu apod. podstatně zvětšíme, zavedeme-li silnou zápornou vazbu pomocí velkých katodových odporek. Na velkých katodových odporech



Obr. 39. Můstkové zapojení elektronkového voltmetru

vzniká i veliké mřížkové předpětí, takže by anodový proud silně poklesl a pracovní bod elektronky by se přesunul do spodní, zakřivené části charakteristiky (obr. 38).

Naším úkolem je tedy zachovat nezávisle na velkých katodových odporech vhodnou polohu pracovního bodu *A*. Dosáhneme toho tím, že na mřížky elektronek přivedeme kompenzační kladné napětí. Základní myšlenka úpravy vysvítá z obr. 40. Mřížkové odpory R_{g1} a R_{g2} se nezapojují na záporný pól napájecího napětí, ale na odbočku napěťového děliče R_1 a R_2 . Odbočka děliče se tak stává vztažným zemním bodem, na který připojíme zemní měřicí svorku.

Zvolíme-li např. hodnoty napěťového děliče tak, že na obou koncích je napětí ± 120 V vůči středu a jsou-li katodové odpory takové, že při anodovém proudu, odpovídajícím bodu *A*, na nich vznikne úbytek napětí 129 V, bude napěťový rozdíl mezi mřížkou a katodou $125 - 129 = -4$ V. Nezávisle na velkých katodových odporech pracují tedy elektronky ve vhodném pracovním bodě. Silná proudová zpětná vazba, způsobená velkými hodnotami R_{k1} a R_{k2} , přitom zvyšuje stabilitu celého zařízení, takže se stává zbytečným stabilizovat napájecí napětí (např. doutnavkovými stabilizátory apod.).

Vyrovnaní můstku se uskutečňuje potenciometrem *P*, kterým můžeme nastavit potřebný poměr proudu tekoucího jednou nebo druhou větví můstku. Tím máme dánou možnost vyrovňávat nulovou výchylku přístroje. Z teoretických důvodů není nutné, aby odpor R_{g2} měl stejnou hodnotu jako R_{g1} . Z hlediska symetrie celého zapojení je to však žádoucí.

Tyto úvahy v hrubých rysech vymezují konečné zapojení elektronkového voltmetu pro měření stejnosměrných napětí. Nesmíme zapomínat na jednu choulostivou otázkou. Čím vyšší hodnotu má mřížkový svod R_{g1} , tím více vzrůstá napěťový úbytek, který na něm vyvolávají svodové proudy z kladné svorky napájecího napětí (obr. 37). Pracovní bod *A* se tím přesouvá nekontrolovatelným způsobem, podobně jako u koncového stupně nízko-frekvenčního zesilovače při vadném va-

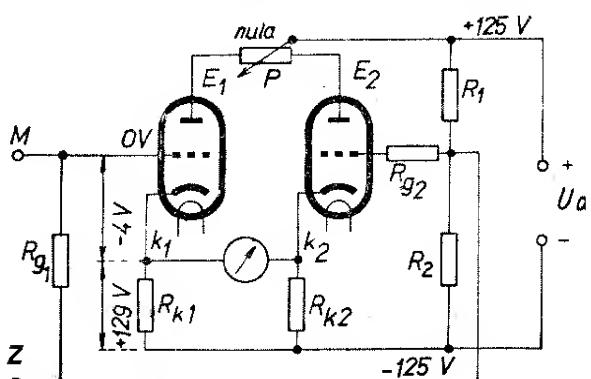
zebním kondenzátoru. Pro ilustraci: je-li izolační odpor $R_{iz} = 500 \text{ M}\Omega$, mřížkový svod $20 \text{ M}\Omega$ a anodové napětí 250 V, pak se na mřížce objeví napětí

$$U = \frac{250 \cdot 20}{500 + 20} \doteq 9,6 \text{ V}$$

Tak velké kladné napětí může vyvést celé zapojení z rovnováhy. Čím menší je mřížkový svod, tím menší je i toto nebezpečí. Proto se velikost mřížkového odporu obvykle omezuje asi na $10 \text{ M}\Omega$. Rozhodující vliv má i zde zapojení podle obr. 40, při kterém se elektronce vnučuje nejvhodnější pracovní bod a do značné míry odstraňuje vliv různých podobných rušivých jevů. Pak zcela vyhovuje moderní dvojitá trioda ECC82 ve spojení s dobrou keramickou paticí, ačkoliv podle běžných katalogových údajů má udávaný maximální odpor v mřížce $1 \text{ M}\Omega$.

Pro měření střídavých napětí elektronkovým voltmetrem musíme přístroj doplnit vhodnou diodovou sondou. V zásadě je možno použít jak vakuovou diodu, tak i diodu krystalovou. Diody krystalové mají kromě výhod (malé rozměry, žádné žhavení, žádný náběhový proud), velkou nevýhodu v omezeném závěrném napětí a nepříliš velikém závěrném odporu. Odpor diody v závěrném směru snižuje vstupní odpor elektronkového voltmetu při měření střídavých napětí.

Z tohoto hlediska je výhodnější vakuová dioda, např. typu EAA91. Její nevýhodou je, že je poměrně velká, což určuje rozměry sondy. Výhodnější by byly různé měřicí vakuové diody v sub-



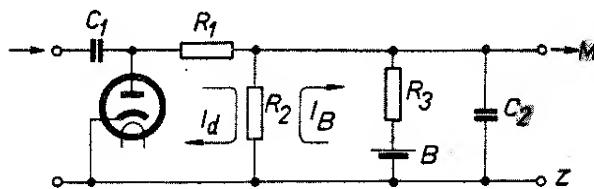
Obr. 40. Úprava pracovního bodu můstkového zapojení elektronkového voltmetu děličem

miniaturním provedení (EA50, EA15), které však nejsou běžně dostupné. Výhodou diody EAA91 je velké závěrné napětí, které dovoluje přímo měřit střídavá napětí až 150 voltů.

Velikou nevýhodou vakuové diody je náběhový proud, který i v klidovém stavu způsobuje základní výchylku měřidla. Tato nevýhoda se odstraňuje zapojením druhé poloviny dvojitě diody jako kompenzační. Jinou možnost dovoluje využití baterie, která obvykle bývá v elektronkovém voltmětru zamontována jako zdroj pro měření odporu. Lze jí totiž využít ke kompenzaci náběhového proudu jednoduché diody. Způsob je patrný ze schématu na obr. 41, kompenzace druhou diodou je ale všeobecně správnější.

Střídavé napětí se přivádí přes oddělovací kondenzátor C_1 . Na odporech R_1 a R_2 vzniká špičkové stejnosměrné napětí z měřeného střídavého napětí. Odpor R_1 a C_2 působí jako filtrační člen, takže na výstupní svorky M a Z přichází jen vyfiltrované stejnosměrné napětí. Velikost odporu R_1 lze volit takovou, že na R_2 vzniká napětí, které vyvolává výchylku měřidla, odpovídající efektivní hodnotě měřeného střídavého napětí. Pak lze použít pro měření střídavého napětí stejně stupnice, jako pro měření stejnosměrná. K vykompenzování náběhového proudu diod lze použít již zmíněně kompenzace pomocí dodatečného proudu z baterie B (obr. 41), nebo zapojit oba systémy diod do série tak jak je to uvedeno na obr. 43. Úbytky napětí na odporu R_2 , způsobené náběhovým proudem I_d a kompenzačním proudem I_B se vzájemně ruší, takže elektronkový voltmětr zůstává vynulován i po připojení diodové sondy.

Elektronkový voltmětr je vhodný i pro měření odporu. Princip měření vyplývá z obr. 42. Neznámý odpor R_x se zapojuje do série s normálovým srovnávacím odporem R_n a elektronkovým voltmetrem



Obr. 41. Zapojení diodové sondy

se měří úbytek napětí na odporu R_x . Čím je odpor větší, tím je i výchylka měřidla větší. Stupnice přístroje se vypočítá ze vztahu

$$\frac{u}{U} = \frac{R_x}{R_x + R_n}; \quad u = U \frac{R_x}{R_x + R_n}$$

kde u — výchylka ručky při měření odporu a

U — napětí baterie (1,5 V).

Získáme tak průběh stupnice, který obsahne zhruba 2 dekády. Přepínání odporu R_n umožňuje na elektronkovém voltmětru číst odpor podle následujícího přehledu.

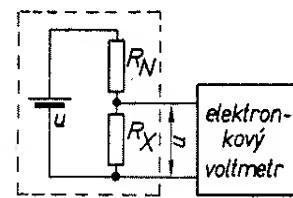
R_n	přepínač v poloze	rozsah
10 (9,1) Ω	$R \times 1$	1 $\div 100 \Omega$
100 (9,1 + 90) Ω	$R \times 10$	0,01 $\div 1 \text{ k}\Omega$
1000 atd. Ω	$R \times 100$	0,1 $\div 10 \text{ k}\Omega$
10 $\text{k}\Omega$	$R \times 1\text{k}$	1 $\div 100 \text{ k}\Omega$
100 $\text{k}\Omega$	$R \times 10\text{k}$	0,01 $\div 1 \text{ M}\Omega$
1 $\text{M}\Omega$	$R \times 100\text{k}$	0,1 $\div 10 \text{ M}\Omega$
10 $\text{M}\Omega$	$R \times 1\text{M}$	1 $\div 100 \text{ M}\Omega$

V. 2. Dílenský elektronkový voltměr

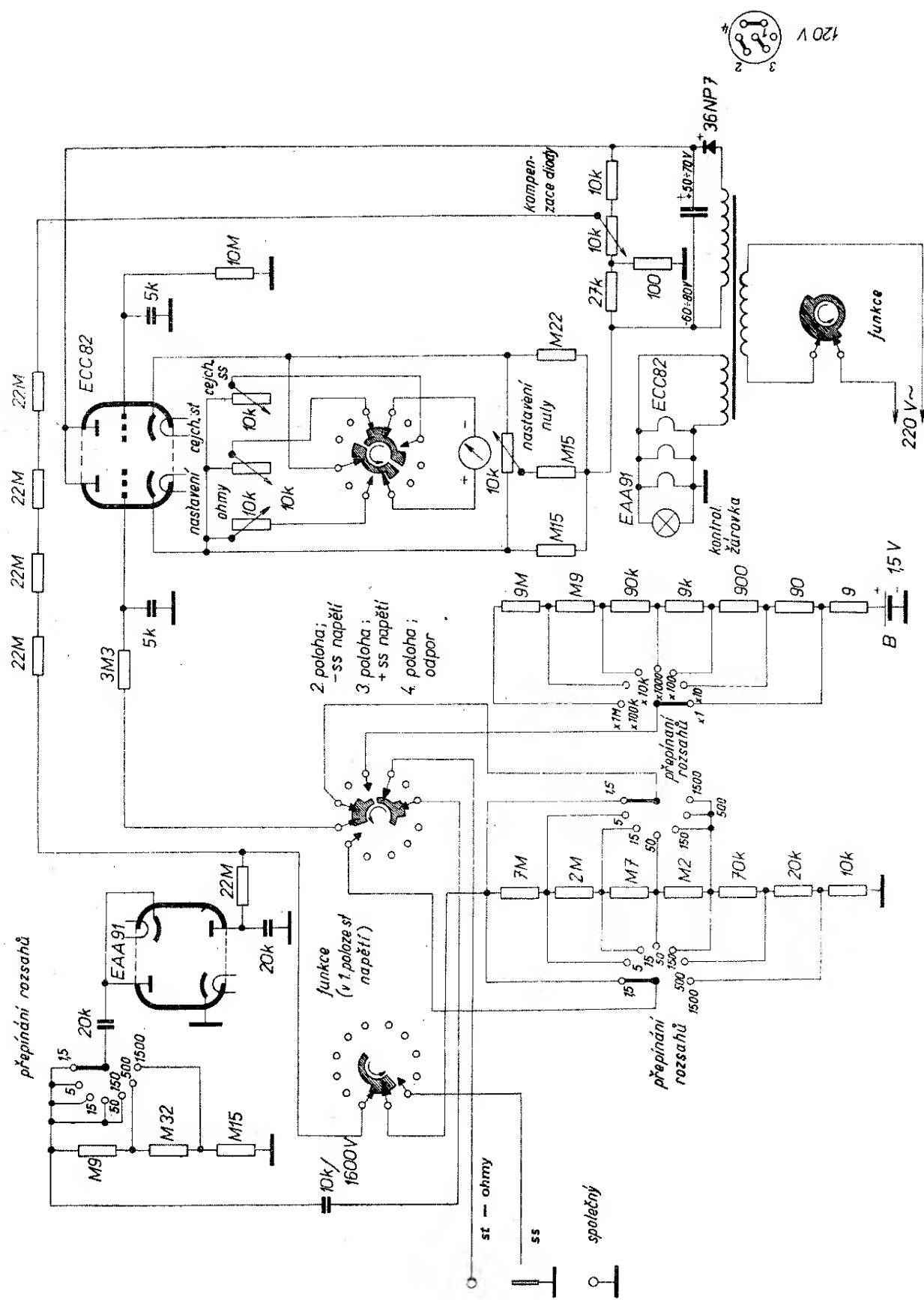
Z přehledu vyplývá, že základní hodnota odporu R_n by měla být 10Ω . V zapojení na obr. 43 je základní hodnota odporu jen $9,1 \Omega$. To proto, že se počítá i s vnitřním odporem baterie, která při nulovém odporu na vstupu je nucena dodávat asi 150 mA . Popsané úvahy jsou konstrukčně realizovány v elektronkovém voltmětru, jehož zapojení vidíme na obr. 43. Celkový pohled na přístroj ze předu je na obr. 44, kde jsou hlavními ovládacími prvky dva přepínače, funkční vlevo a rozsahový vpravo. Funkčním se pomocí vícenásobného hvězdicového přepínače současně ovládá:

a) síťový spínač

b) dělič napětí v mřížce měřicí elektronky, který se přepíná buď na vstupní svorky pro ss napětí nebo na vývod z diody EAA91,



Obr. 42. Měření odporu elektronkovým voltmetrem



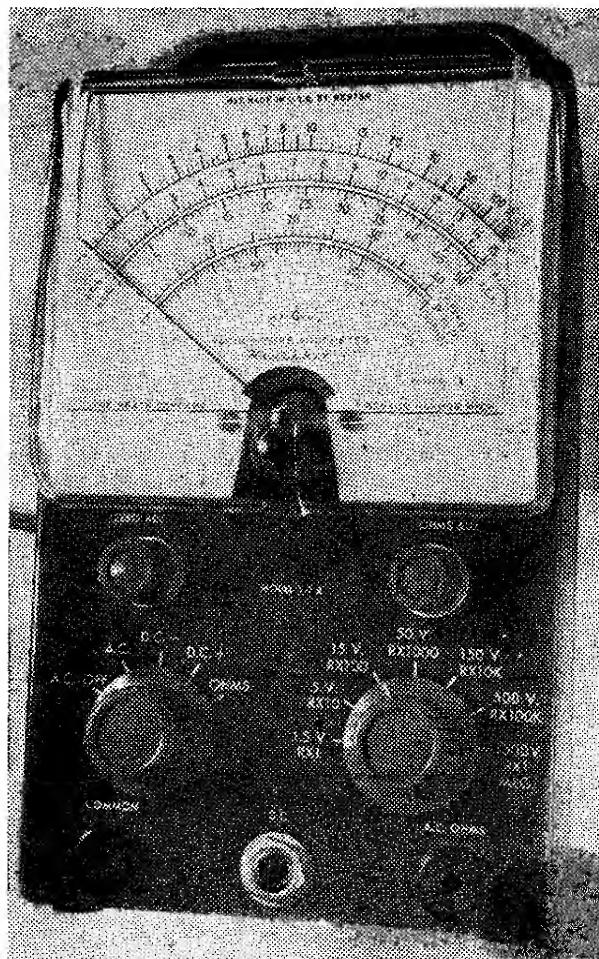
Obr. 43. Zapojení dílenského elektronkového voltmetru

c) volba odbočky pro mřížku elektronky na děliči napětí.

Při měření stejnosměrných napětí se volí odbočky jen na děliči napětí. Při měření střídavých napětí se volí kombinace odboček a dalšího děliče na vstupu diody, která snese přímo napětí jen do 150 V.

d) přepínání měřidla a příslušných sériových cejchovaných odporů v katodách elektronky, současně se přepíná i polarita měřidla podle polarity vstupního napětí.

Dělič napětí, kterým se volí rozsah, má celkový odpor $10 \text{ M}\Omega$. Přepínač děliče je sdružen s druhým děličem se sadou odporů R_n , kterých se používá při měření odporů. Princip zapojení zůstává shodný se zapojením na obr. 42. I když zapojení se zdá být složité, jde v zásadě o jednoduchý princip, který nabývá složitosti teprve větším počtem rozsahů a kombinačních možností.

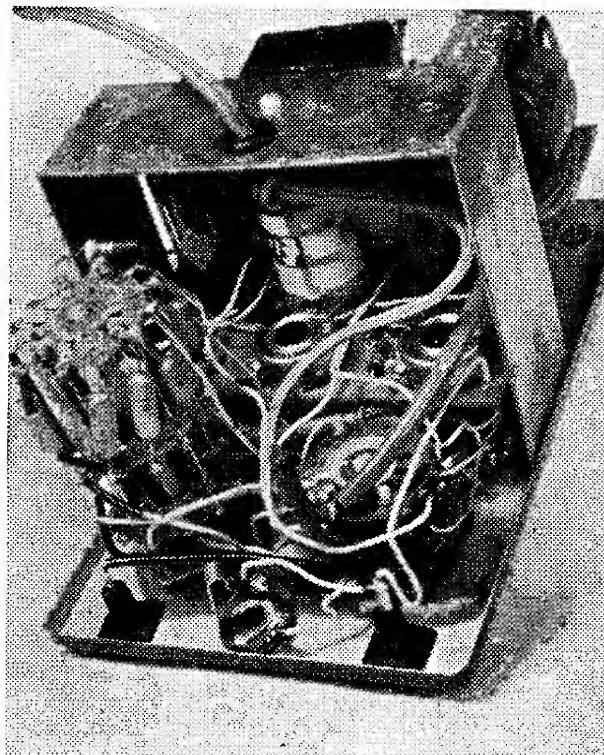


Obr. 44. Pohled na přední panel dílenského elektronkového voltmetu

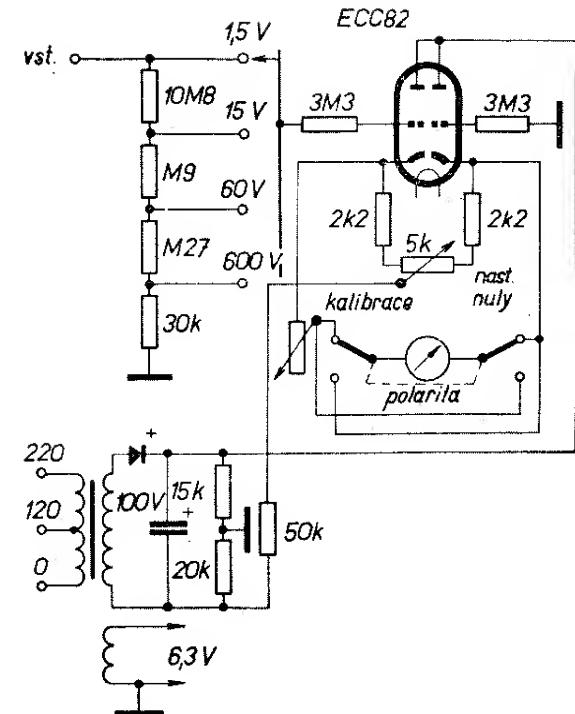
Na obr. 45 je ještě pohled na přístroj zezadu. Je zřetelně patrné, že přístroj je kompaktní a díky soustředění většiny odporů na přepínače i přehledný po stránce montážní. Nemalou zásluhu na tom má i montáž na destičce s plošnými spoji a malé rozměry použitých součástek.

V. 3. Jednoduchý elektronkový voltmetr

O tom, že lze zhotovit elektronkový voltmetr se všemi jeho výhodami i v jednoduchém provedení, dostupném prakticky každému, svědčí zapojení na obr. 46. Základ celého zapojení je opět dvojitá trioda ECC82 s dělenými katodami. Oba systémy jsou zapojeny stejně jako v předcházejícím případě, tj. jako katodový sledovač. Doporučuje se použít měřidla s rozsahem alespoň 1 mA . Mnohem jednodušší situace ovšem nastane, použijeme-li přístroje se spotřebou $200 \mu\text{A}$ nebo ještě méně. Pak se totiž z charakteristiky elektronky využívá jen kratší části a výsledek je, že průběh stupnic je rovnoměrnější.

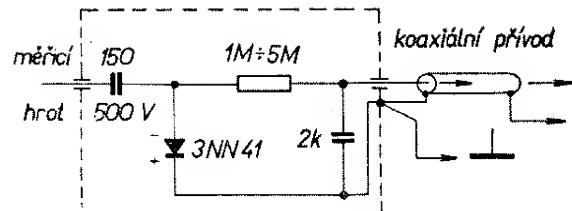


Obr. 45. Montáž součástek dílenského elektronkového voltmetu



Obr. 46. Jednoduchý elektronkový voltmetr

Výhoda zapojení je v tom, že je lze cejchovat na základním rozsahu, např. monočlánkem. Napětí přitom odebíráme z vhodného děliče, např. z potenciometru, připojeného k monočlánku. Napětí na běžci potenciometru kontrolujeme měřidlem s otočnou cívkou, např. Avometem. Knoflíkem „kalib.“ se nařídí výchylka naplně při napětí 1,5 V. Průběh stupnice lze také s dostatečnou přesností propočítat jako lineární, vzhledem k maximální výchylce. Odpadne tak individuální cejchování. Stačí jen překontrolovat několik bodů pomocí potenciometru, sledovaného Avometem, aby bylo možno údaje stupni-



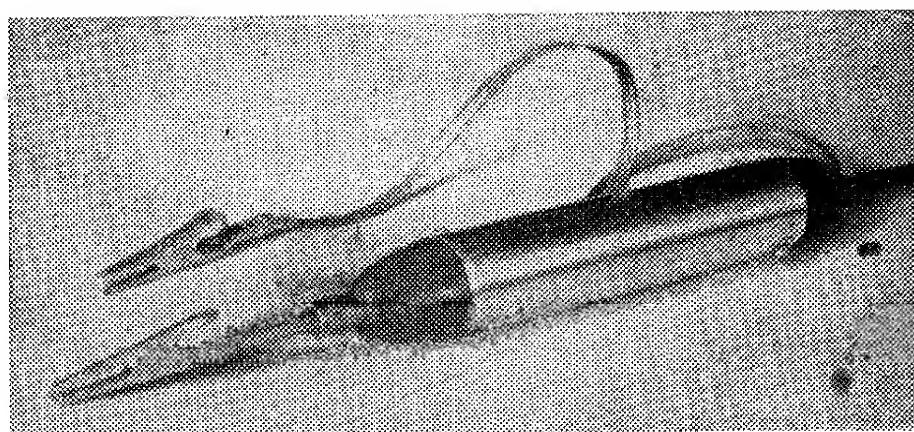
Obr. 48. Zapojení diodové sondy s Ge diodou

ce použít pro většinu aplikací. Na dalších rozsazích postačí, budou-li hodnoty odporů, použitých v děliči, voleny s dostatečnou přesností.

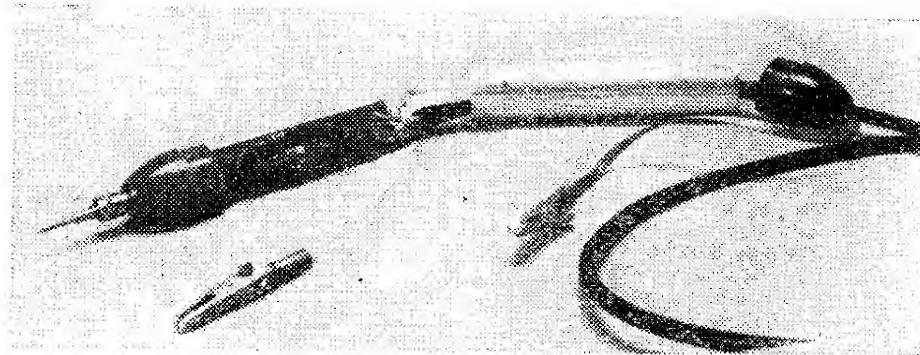
Mezi oběma krajními případy složitosti zapojení elektronkového voltmetru má domácí konstruktér možnost široké volby. Podle požadavků a účelu může jednoduchou verzi elektronkového voltmetru rozšířit a doplnit v duchu optimálního přístroje z obr. 43.

Pro měření vysokofrekvenčních napětí do kmitočtu asi 100 MHz bude třeba jednoduchý voltmetr vybavit diodovou sondou. Jak taková sonda vypadá, vidíme z obr. 47. Je to jednoduchá sonda s germaniovou diodou, která dovoluje měřit střídavá napětí asi do 30 V (viz zapojení na obr. 48). Konstrukce snese stejnoměrné napětí (izolačně) až 500 V. Rozložení součástek uvnitř sondy je patrné z obr. 49. Sonda je vhodným doplňkem nejen k elektronkovému voltmetru, ale i k jiným přístrojům (např. osciloskopu), u kterých rozšíří použitelnost i pro práci na vyšších kmitočtech.

Že lze amatérsky zhotovit i malou elektronkovou sondu, dokazuje obr. 50.



Obr. 47. Diodová sonda pro elektronkový voltmetr s Ge diodou



Obr. 49. Rozložení součástek v diodové sondě s Ge diodou

Její zapojení neuvádíme, je shodná se zapojením z obr. 43, ovšem bez vstupního děliče.

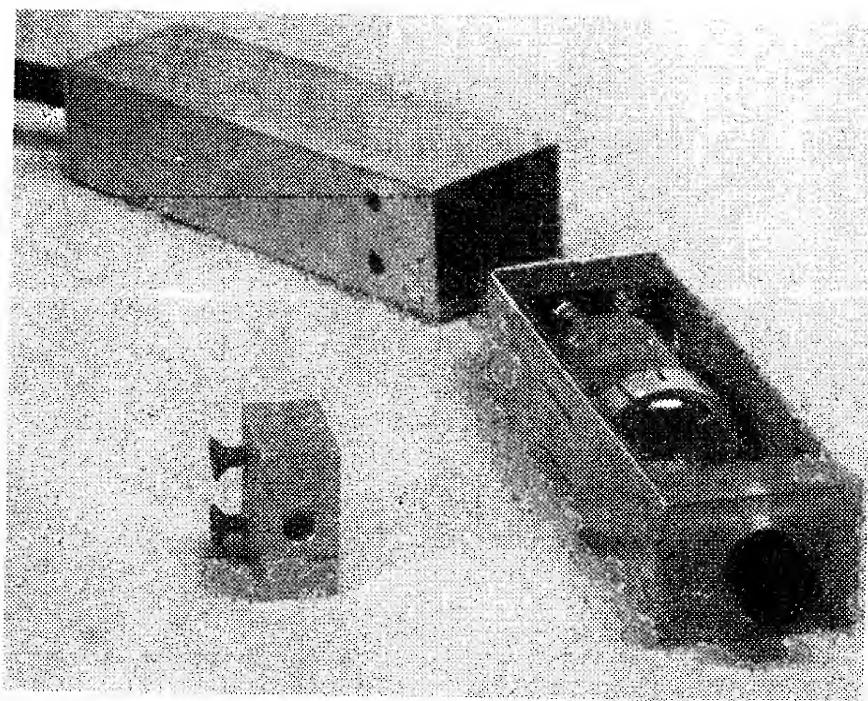
Tím ještě nejsou vyčerpány možnosti, které skýtá elektronkový voltmetr. Na obr. 51 vidíme ještě tzv. vysokonapěťovou sondu, která rozšiřuje měřený rozsah napětí do 20 až 30 kV. Rozšíření rozsahu se dosahuje dodatečným předřadným odporem 1090 MΩ, zhotoveným z dvou až tří odporů TR 131, řazených do série. Obyčejné odpory nesnesou na svorkách napětí přes 500 V a rychle mění svou hodnotu. V nouzi by bylo možno použít i několika odporů WK 650 - 05 s axiálními vývody. Složený odpor je uložen v papírové trubičce, vložené a mechanicky zajištěné v dutině sondy. Rukojet sondy je z jediného kusu plexi nebo polystyrénu (obr. 51). V nouzovém případě je lze nahradit delší pertinaxo-

vou trubicí, impregnovanou vypalovacím izolačním lakem, např. S1901. V tomto případě se doporučuje používat sondy k měření napětí jen do 15 kV. (Zapojení sondy viz obr. 52).

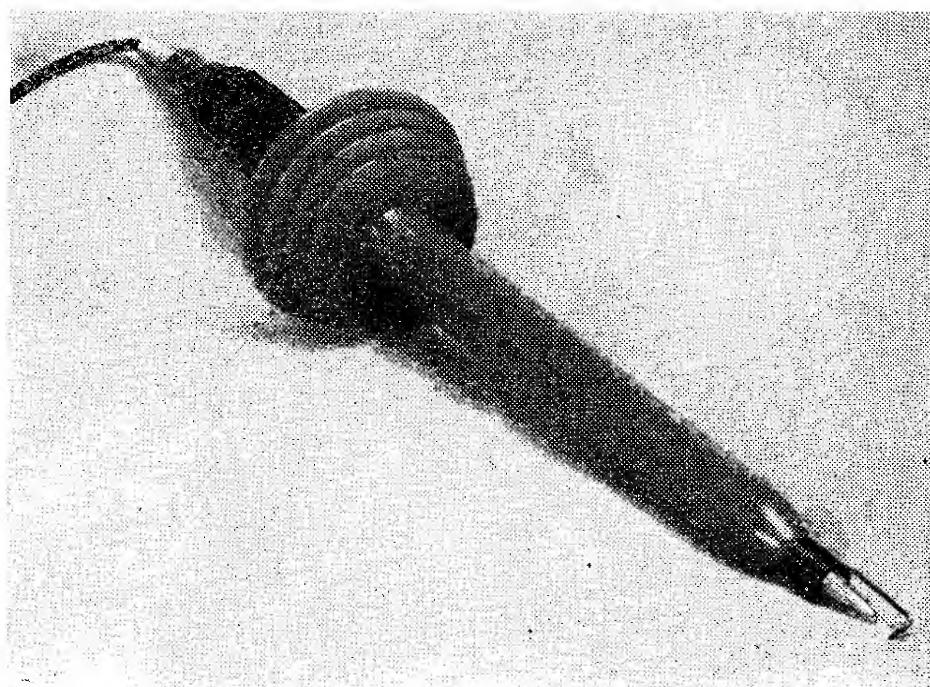
Sonda je především určena k měření vysokého napětí v televizních přijímačích. K měření napětí na tvrdších zdrojích vysokého napětí (vn sít apod.) se nedoporučuje pro napětí nad 5 kV. Pak je třeba postupovat podle příslušných bezpečnostních předpisů.

V. 4. Voltmetr s tranzistorovým zesi-lovačem

Elektronka není jediná aktivní součástka, které můžeme použít ke zhotovení voltmetru s malou spotřebou. Také tran-



Obr. 50. Diodová sonda s elektronkou



Obr. 51. Vysokonapěťová sonda k elektronkovému voltmetru

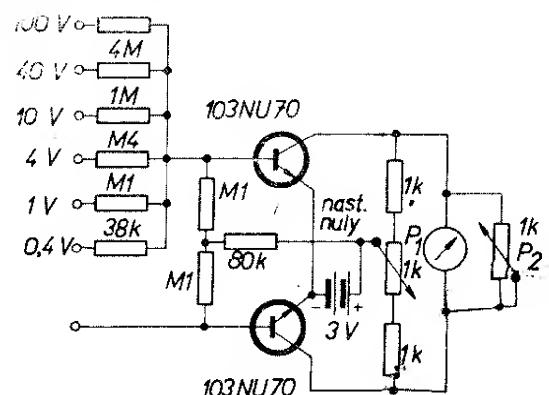
zistory skýtají řadu zajímavých možností, z nichž uvedu alespoň jednu. Je to tranzistorový stejnosměrný zesilovač s děličem napětí na vstupu (obr. 53). Rozsah měřených napětí je od 0,4 V až do 100 V. Zesilovač s tranzistory zvyšuje citlivost přístroje na $10 \mu\text{A}$ na plnou výchylku, takže dosáhneme poměrného odporu $100 \text{ k}\Omega$ na volt. Přitom užíváme měřidla s rozsahem $0,2 \text{ mA}$, mechanicky odolného a levného. Zvláštností přístroje je, že se baterie nevypíná, a to proto, že celková spotřeba přístroje je jen několik mA, takže běžné monočlánky vydrží dodávat tento proud prakticky stejnou dobu, jako je jejich skladovatelnost bez odběru. Nepřetržitý provoz značně zvyšuje stabilitu celého přístroje.

Jak je z obr. 53 patrné, používá se v přístroji dvoučinného stejnosměrného zesilovače v zapojení se společným emitorom. Zesilovač je buzen proudem do báze. Intenzita proudu se udržuje v potřebném rozpětí děličem napětí na vstupu, sestaveným z řady předřadných odporů. Po-

Obr. 52. Zapojení vysokonapěťové sondy; odpor má být správně $1090 \text{ M}\Omega$

tenciometru P_1 se používá k nastavení rovnováhy zapojení, tj. k vyvážení přístroje na nulu. Celková citlivost se upravuje bočníkem P_2 , paralelně připojeným k měřidlu. Volí se tak, aby při známém celistvém napětí na vstupu (např. 1 V), ukazoval měřič plnou výchylku. Výhodou zesilovače je, že závisí prakticky lineárně na velikosti vstupního napětí (tj. budicího proudu). Je tedy možné při vhodném nastavení zesílení zesilovače zachovat původní cejchování stupnice měřidla. Není obtížné dosáhnout linearity výchylky lepší než $\pm 5\%$ maximální hodnoty.

Tranzistory typu 103NU70 musí mít proudový zesilovací činitel h_{2ie} alespoň



Obr. 53. Voltmetr s tranzistorovým zesilovačem

mezi 60 a 100. Také jejich zbytkový kolatorový proud je třeba přezkoušet; neměl by být větší než 0,2 mA. Aby se u přístroje dosáhlo dobré tepelné stálosti, zasunou se oba tranzistory do hliníkového špalíčku, do dvou otvorů, vrtaných co nejbližše u sebe. Pak mají oba tranzistory prakticky stejnou teplotu, která se mění se změnou okolní teploty jen pomalu. Velká stálost přístroje způsobuje, že nuluje nutno opravovat jen občas a to jen mechanickým vyrovnáváním měřidla. Ta- to jednoduchá pomůcka znamená další obohacení dílny a ocení se především při práci s tranzistory.

VI. 1. Laděné obvody

V radiotechnice je hojně používaným obvodem tzv. oscilační, kmitavý, nebo laděný obvod. Je to vzájemné propojení tří nejčastěji se vyskytujících součástek: kondenzátoru, cívky a odporu. Paralelním spojením kondenzátoru a cívky vznikne útvar, vyznačený na obr. 54, tzv. *paralelní rezonanční obvod*. Na obr. 54 jsou jednotlivé součástky uvažovány jako výsledné. Platí to především pro kondenzátor C , jehož kapacita se skládá nejenom z kapacity ladícího kondenzátoru, ale i z vlastní kapacity cívky, z kapacity spojů a v neposlední řadě i ze vstupní kapacity elektronky nebo tranzistoru, připojeného k laděnému obvodu.

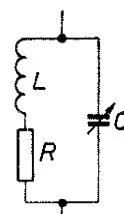
Také činný odpor R je výsledným odporem, představujícím souhrn několika odporů i jiných vlivů. Je to především odpor vodiče cívky, který je ve skutečnosti spíše v sérii s indukčností, ale lze jej nahradit paralelním se stejným účinkem, dále ztrátový odpor cívky spolu se ztrátovým odporem kondenzátoru. K tomu se druží ztrátové odpory v připojených obvodech, jako mřížkový svod připojené elektronky, vodivost izolátoru atd.

Vlastnosti laděného obvodu se popisují několika veličinami:

R — tj. souhrnným činným odporem [$\text{v } \Omega$]

L — indukčností obvodu [$\text{v } \mu\text{H}$ nebo mH]

C — kapacitou obvodu [$\text{v } \text{pF}$]



Obr. 54. Prvky laděného obvodu

Nebudeme se zabývat otázkami, jako je šíře pásma, jakost cívky atd. Přihlédněme především k těm vztahům, které potřebujeme v další části.

Naším úkolem bývá často měnit (ladit) rezonanční kmitočet laděného obvodu. To je možné jak změnou indukčnosti, tak i kapacity. V praxi se tak děje častěji pomocí proměnné kapacity, tzv. ladícím kondenzátorem. Nás zajímá především v jakém kmitočtovém rozpětí bude možno měnit rezonanční kmitočet laděného obvodu. Jedna mez je závislá na maximální kapacitě otočného kondenzátoru C_{\max} , druhá na kapacitě minimální C_{\min} . Nejnižší rezonanční kmitočet je vyjádřen vztahem

$$f_{\min} = \frac{1}{6,28 \sqrt{LC_{\max}}} \quad [\text{Hz; H, F}]$$

a nejvyšší — rovnicí

$$f_{\max} = \frac{1}{6,28 \sqrt{LC_{\min}}} \quad [\text{Hz; H, F}]$$

Pak je

$$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}} \quad [\text{Hz; F}]$$

Druhá odmocnina z poměru maximální a minimální kapacity

$\sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}} = p$ je veličina, která charakterizuje vlastnost otočného kondenzátoru.

Předpokládejme, že $C_{\max} = 450 \text{ pF}$ a $C_{\min} = 50 \text{ pF}$. Potom je

$$p = \sqrt{\frac{450}{50}} = 3.$$

Je-li při C_{\min} obvod naladěn na kmitočet 1 MHz, bude při C_{\max} naladěn na

kmitočet $\frac{1\text{MHz}}{3}$, což je 333 kHz. Není

obtížné domyslet, jak parazitní kapacity otočného kondenzátoru zužují kmitočtový rozsah. Vliv přídavných kapacit se především uplatňuje posunutím mezního kmitočtu při otevřeném otočném kondenzátoru. Rezonanční kmitočet laděného obvodu se snižuje. Při uzavřeném ladicím kondenzátoru je tento vliv podstatně menší (vliv odmocniny ve vzorci).

V dalším si krátce připomeneme postup kterým bychom mohli vypočítat laděný obvod pro žádané pásmo.

Mějme otočný ladicí kondenzátor s počáteční kapacitou 12 pF a konečnou 420 pF. Požadujme rozsah od 500 kHz výše. Ze zkušenosti odhadneme kapacitu cívky na 5 pF (podle provedení může být od 1 do 10 pF), kapacitu spojů na 8 pF, vstupní kapacitu elektronky (např. ECH81) i s objímkou asi na 10 pF, kapacitu přepínače na 6 pF, celkem tedy činí počáteční kapacita 41 pF. Konečná kapacita bude $420 + 29 = 449$ pF a veličina p je

$$p = \sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}} = \sqrt{\frac{449}{41}} \doteq 3,3.$$

Zvolíme-li $f_{\min} = 500$ kHz, bude $f_{\max} = 500 \cdot 3,3 = 1,65$ MHz. Indukčnost cívky určíme ze známého vztahu na kmitočtu 500 kHz

$$L = \frac{25\ 330}{f^2 \cdot C} = \frac{25\ 330}{0,25 \cdot 449} = 220 \mu\text{H}. \quad [\mu\text{H}; \text{MHz}, \text{pF}]$$

Podobně postupujeme i na ostatních rozsazích, přičemž volíme malé překrytí (asi 5 až 10 %) při přechodu z rozsahu na rozsah. Cívky dnes většinou zhotovujeme navinutím vodiče na železové jádro. U těch je výpočet indukčnosti velmi jednoduchý. Indukčnost takové cívky je dána výrazem

$$L = k \cdot n^2, \quad [\mu\text{H}]$$

kde n — počet závitů cívky,
 k — konstanta jádra.

Potíž bývá totiž v tom, že tato konstanta se většinou neudává. Náprava je snadná: na jádro, kterého chceme použít, navineme známý počet závitů. Po změření

indukčnosti cívky vypočítáme konstantu jádra

$$k = \frac{L}{n^2}. \quad [\mu\text{H}]$$

Např. na jádro navineme 50 závitů a zjistíme, že cívka má indukčnost 75 μH . Pak k je

$$k = \frac{75}{50^2} = \frac{75}{2500} = 0,03.$$

Tento přehled o orientačním výpočtu laděného obvodu a především indukčnosti cívky potřebujeme při návrhu dalšího přístroje, velmi užitečného pro domácí práci, a to signálního generátoru.

VI. 2. Dílenský signální generátor

Signální generátor je v podstatě měřicí vysílač a tedy zdroj vysokofrekvenční energie. Signál musí být vždy sinusového průběhu při známém kmitočtu, jeho výstupní amplitudu můžeme měnit kontrolovatelným způsobem.

Jako u napěťových a proudových měřicích přístrojů i zde se vyrábějí složité a drahé laboratorní tovární přístroje. Ale i zde se ukazuje, že lze mnoho prací dokázat i prostředky až překvapivě jednoduchými. Naším dalším cílem bude seznámit se s několika konstrukčními řešeními jednoduchých signálních generátorů.

Než přistoupíme k popisu některých přístrojů, bude účelné vymezit ekonomický zdůvodněné požadavky, které se na signální generátory kladou. Znát pokud možno přesně kmitočet vyráběného signálu znamená, že laděný obvod s elektronkou musí být konstruován mimořádně stabilně. Co největší reproducovatelnost kmitočtu, velká odolnost vůči mechanickým nárazům a opotřebení i malá citlivost ke změnám teploty ovlivňují konstrukční provedení otočných kondenzátorů, které tak nabývají značných rozměrů. Jejich nosné rámy bývají často odlévané, desky ze silného plechu speciálně rovnaného, u nejlepších jsou frézovány z plného kusu. Nezřídka mívají otočné kondenzátory i mechanické úpravy, které vyrovnávají změny kapacit

kondenzátorů, působené kolísáním teploty.

Cívky jsou zpravidla vzdušné, s větší indukčností jsou vinuty křížově, menší válcově, na keramické kostry nebo samonosně. Cívky se montují na mohutné otočné karusely, které zastávají funkci vlnových přepínačů.

Elektronky bývají často konservativních až zastaralých tvarů, nejčastěji triody, které se již dlouho v praxi osvědčují.

Aby bylo možno kontrolovat výstupní napětí, je třeba se postarat, aby vyráběná vysokofrekvenční energie mohla vystupovat z prostoru generátorů pouze dovolenou cestou. Tou bývá stíněný souosý kabel, který vede na oddělovací stupeň a na speciální stupňovitě přepínaný výstupní desetinný (dekadický) dělič.

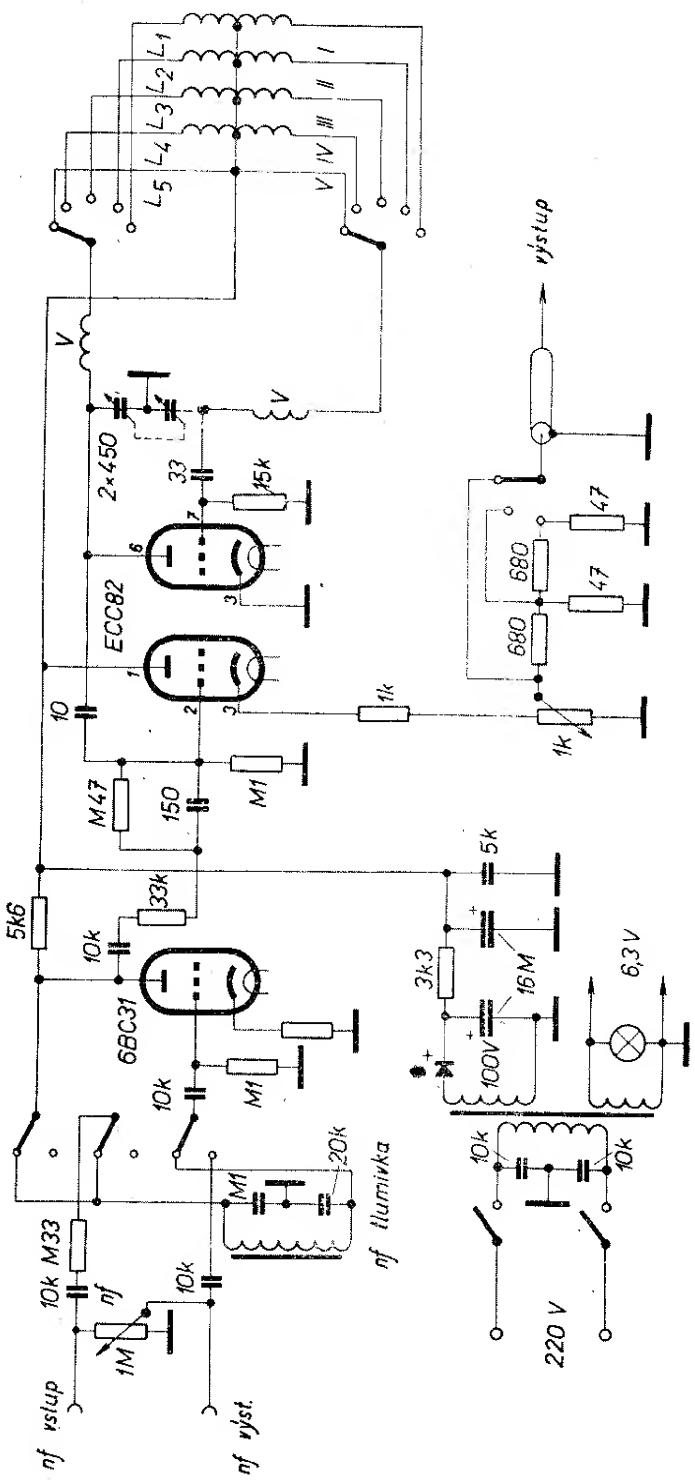
Vf stupeň generátoru musí být dokonale stíněn, obvykle hliníkovým odlitkem s neméně mohutným víkem. Nadto mírá víko spojovací lišty, které kryjí spáry mezi víkem a základnou.

Ze všeho je jasné, že laboratorní signální generátor se prakticky vymyká možnostem domácího zhotovení. Ovšem po- psané úpravy jsou nutné, jen pokud zá- dáme, aby bylo možno z výstupního dě- liče odebírat napětí do $1 \mu\text{V}$ nebo i méně. (To předpokládá, že rušivé vyzařování z generátoru je ještě o řád nižší).

Pro běžnou praxi nebude nutné natolik zeslabit výstupní signál. Vf citlivost přijímačů bývá okolo 10 až 100 μ V. Při sladování přijímačů nás nezajímá, jakou úroveň má výstupní signál z generátoru, jako to, aby signál byl natolik silný, že jím lze sladovat. Na druhé straně nesmí být výstupní signál při otočení regulátoru výstupního napětí na nulu zase tak silný, aby se jím zahlcoval přijímač. Kdyby přeslechová úroveň ze signálního generátoru byla příliš veliká i při staženém děliči a nebylo možno ji dále snížit pod úroveň, přijatelnou pro sladování, lze si pomocí tím, že na konec kabelu generátoru zapojíme dodatečný odporový útlumový článek. Při práci s rámovou anténnou stačí zvětšit vzdálenost mezi přijímačem a zdrojem signálu.

Shrneme-li dosavadní požadavky, zjistíme, že postačí, bude-li možno signál z generátoru zeslabovat přibližně na úro-

veň několika desítek μ V. To už je požadavek, který lze splnit bez zvláštních úprav, běžnými prostředky, obvyklými v radiotechnické praxi. Poněkud obtíž-



Obr. 55. Zapojení dílenského signálního generátoru. Přepínač je v poloze „modulace vnitřní“

nější situace je v přesnosti. Aby dosažitelná přesnost byla u nákladnějších signálních generátorů jak relativně (při nastavení stupnice na stejnou značku), tak i absolutně (co do skutečného kmitočtu) v rozmezí přesnosti pod 1 %, bývá nutné sáhnout k nákladným mechanickým úpravám. Spokojíme-li se s přesností okolo $\pm 10\%$, vystačíme s většinou obvyklých radiotechnických stavebních prvků.

Od signálních generátorů vyžadujeme, aby měly svůj zdroj modulace signálu. Malý tónový generátor, zabudovaný v signálním generátoru, vyrábí tónový kmitočet, kterým lze modulovat vf signál. Hloubka modulace se přitom může řídit na úroveň, kontrolovanou vestavěným měřidlem. Často mívá signální generátor možnost modulace i z vnějšího zdroje.

Většinou sladujeme podle amplitudy signálu na nf výstupu přijímače, který se odvozuje od modulace vf signálu. Postačí, bude-li hloubka modulace stálá a přibližně okolo 50 %. Jinak není důležité znát přesnou hloubku modulace. Vystačíme tedy s jednorázovou úpravou zapojení.

Vystačíme také s jednodušším způsobem modulace a obejdeme se bez oddělovacího stupně, obvyklého v továrních signálních generátořech.

Pro ujasnění prohlédneme si nyní několik signálních generátorů různé složitosti, které jsou vhodné pro běžné dílenské i domácí účely.

Zapojení prvního vidíme na obr. 55. Vysokofrekvenční část je osazena dvojitou triodou ECC82. Jedna polovina triody pracuje jako Colpittsový oscilátor. Druhá trioda je použita jako katodový sledovač a působí současně jako oddělovací stupeň mezi oscilátorem a výstupem signálního generátoru. Celkem je použito čtyř cívek pro pásmo: I — 160 až 500 kHz, II — 500 až 1650 kHz, III — 1,65 až 6,5 MHz, IV — 6,5 až 25 MHz. Pro pátý rozsah od 25 MHz do 110 MHz použijeme jednoduché smyčky ze silného drátu, která propojuje pásmový přepínač a ladící kondenzátor. Při přepnutí přepínače do polohy V přemostí se přepínač delším kouskem drátu a vytvoří tak laděný obvod, schopný kmitání daleko nad 100 MHz.

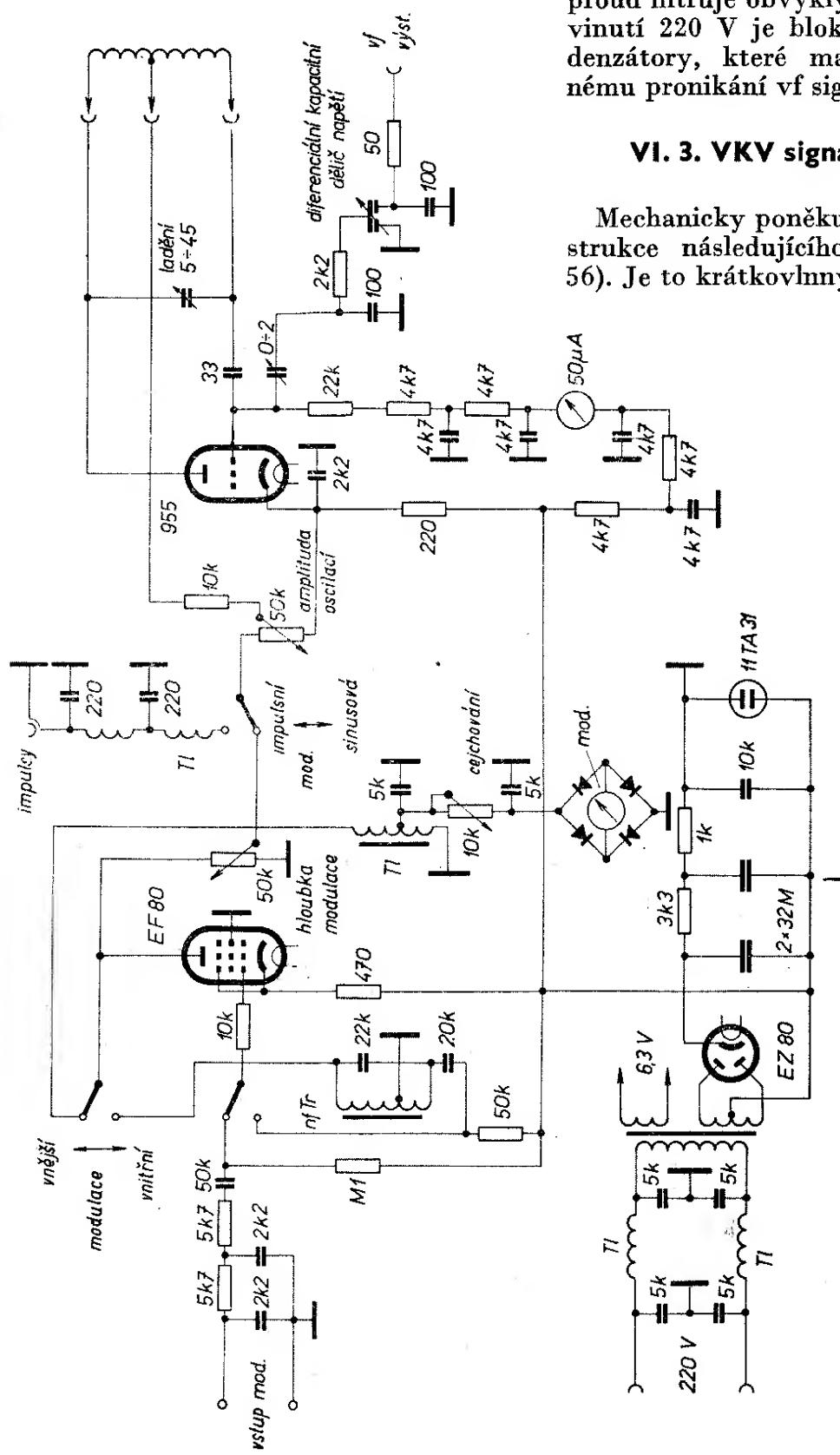
Zpětná vazba pro elektronku se získává z kapacitního děliče, tvořeného zemním vývodem dvojitého otočného kondenzátoru, zapojeného jako split-stator (rozdelený stator). Velká výhoda zapojení s děleným kondenzátorem je v tom, že dělicí poměr zůstává při protáčení ladícího kondenzátoru zachován. Kapacita kondenzátoru, tvořícího dělič, se současně s klesajícím kmitočtem zvětšuje a naopak se s rostoucím kmitočtem zmenšuje. Reaktance kondenzátoru je nepřímo úměrná kmitočtu. Při vztuštajícím kmitočtu a zmenšující se kapacitě se tak v obvodu děliče udržuje reaktance zhruba na stálé úrovni. To umožňuje udržet rovnoměrné oscilace v poměrně širokém kmitočtovém rozpětí.

Katodový sledovač jako oddělovací stupeň má řadu výhod. Charakteristikou vlastností katodového sledovače je malá výstupní impedance a velká impedance vstupní, která málo zatěžuje oscilátor. Malá výstupní impedance zase znamená tvrdší výstupní dělič, méně závislý na zatížení výstupu generátoru. Oddělovací stupeň také zabraňuje zpětnému působení výstupu signálního generátoru na obvod oscilátoru, což zvětšuje celkovou kmitočtovou stabilitu.

Jak je vidět z obr. 55, je signální generátor opatřen nejenom plynulým regulátorem výstupního napětí (potenciometr 1 k Ω), ale i jednoduchým stupňovým děličem výstupního napětí.

Obvod tónového generátoru je také zapojen jako Colpittsový oscilátor. Používá nf tlumivky s velkou indukčností a poměrně velkých kondenzátorů v kapacitním děliči. Jeho kmitočet je naladěn přibližně na 400 Hz. Oscilátor má značnou stálost a hlavně dosti čistý sinusový průběh vyráběného signálu. V poloze přepínače „vnitřní modulace“ přivádí se nf napětí 400 Hz přes oddělovací odporové články na mřížku katodového sledovače, kde moduluje vf signál. Přístroj má výstup, ze kterého lze odebírat jen samotné nf napětí. Má i vstup, do kterého přivádíme cizí vnější nf napětí, kterým můžeme modulovat signální generátor. V poloze přepínače „modulace vnější“ pracuje elektronka 6BC31 jako zesilovač, který přiváděný signál zesiluje.

Přístroj se napájí ze sítového transformátoru. Pro napájení elektronek se



použije napětí (100 V) z vinutí transformátoru. Usměrňuje se selenovým nebo křemíkovým usměrňovačem. Usměrněný proud filtruje obvyklý člen RC . Primární vinutí 220 V je blokováno dvěma kondenzátory, které mají zabránit přílišnému pronikání vf signálu do sítě.

VI. 3. VKV signální generátor

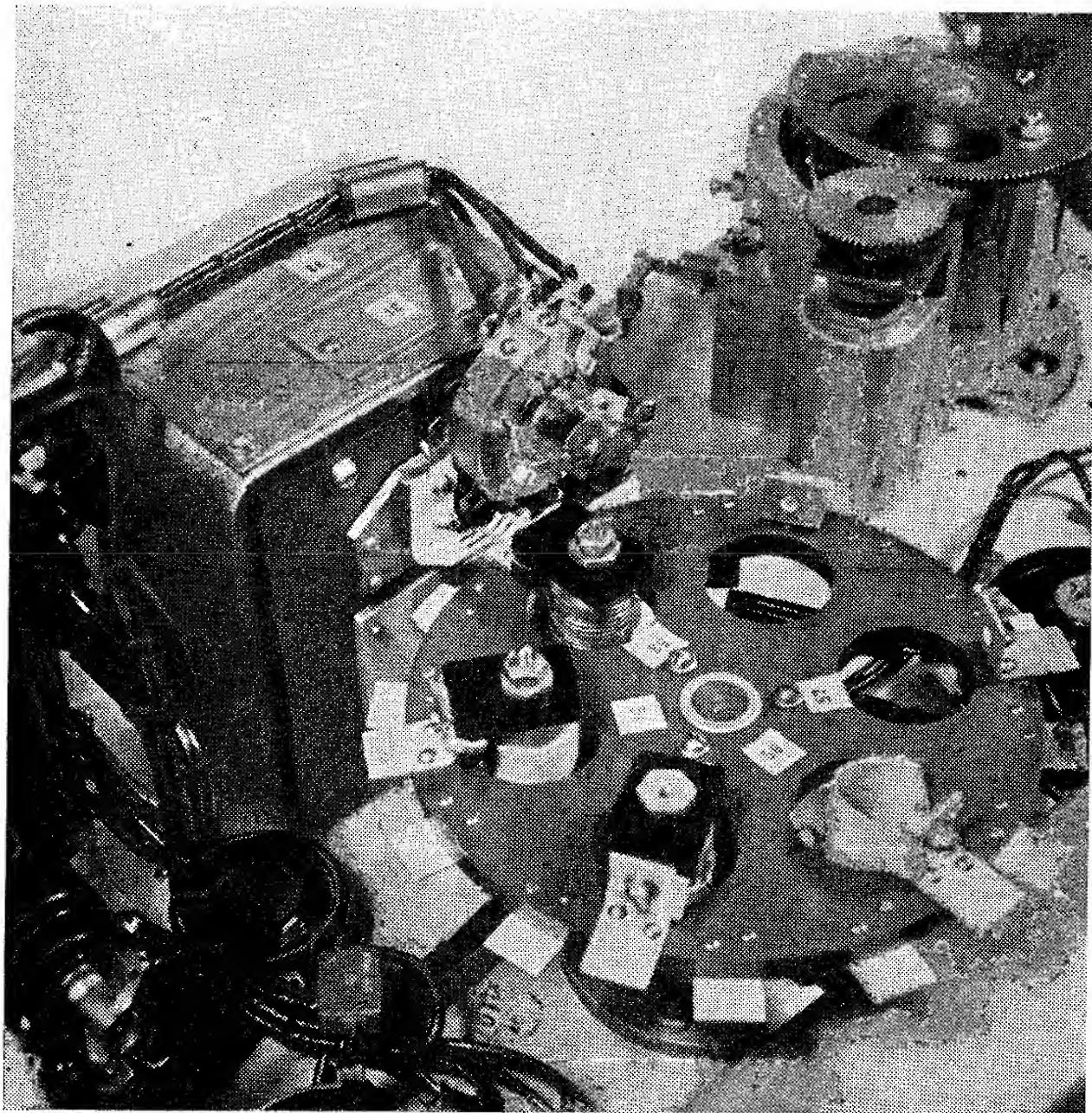
Mechanicky poněkud náročnější je konstrukce následujícího generátoru (obr. 56). Je to krátkovlnný signální generátor

Obr. 56. Zapojení VKV signálního generátoru. Kladný pól napětí zdroje je v přístroji uzemněn

pro kmitočtový rozsah 20 až 200 MHz. Obvod oscilátoru je osazen miniaturní žaludovou elektronkou typu 955. Elektronka je zapojena jako ultraaudion. Je to v zásadě Colpittsův oscilátor, u kterého se jako kapacitního děliče využívá vnitřních kapacit elektronky. Jsou to kapacity mezi mřížkou a katodou, jakož i mezi anodou a katodou. Cívky laděného obvodu mají vyvedený střed, přes který se přivádí anodový proud. Amplituda výstupního signálu se řídí napětím anody

elektronky 955, odebíraným z potenciometru $50\text{ k}\Omega$. Úroveň signálu se měří měřidlem s otočnou cívkou, zapojeným do série s mřížkovým svodem. Měří se velikost mřížkového proudu, která je úměrná velikosti napětí vyráběného vf signálu.

Otočný karusel s cívkami laděného obvodu je dobře patrný na obr. 57. Také kontakty karuselu jsou jasně zřetelné. Cívka pro nejvyšší pásmo je jen široký pásek, který spojuje kontakt na horní straně kotouče se zadním kontaktem

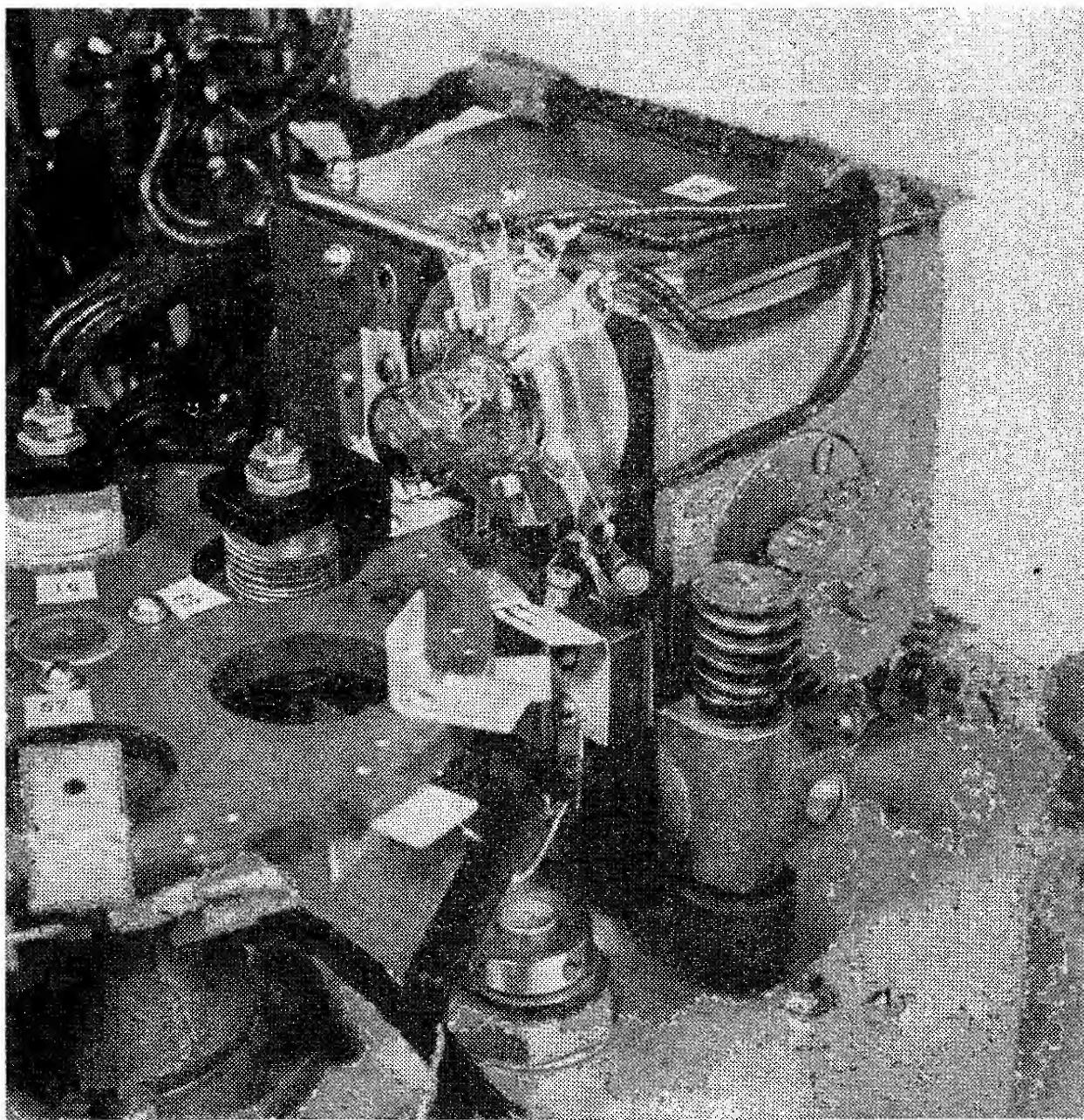


Obr. 57. Celkový pohled na cívkový karusel

(pozice 57 na karuselu). Na tomto pásku je připájen tenší vodič jako střední vývod. Jeho druhý konec je připájen na spodním vývodu karuselu. Protější kontakty na kostře otočného kondenzátoru jsou proříznuty pro lepší spolehlivost kontaktu (obr. 58). Otočný kondenzátor je uložen izolovaně v odlévaném rámu. Náhon rotoru obstarává šnekový převod, dobře viditelný na obr. 58. Šroubkem, viditelným pod šnekem náhonu, řídí se velikost vazební kapacity mezi mřížkou

oscilátorové elektronky a výstupním děličem.

Dělič napětí je zajímavý svým provedením. Pozůstává v podstatě z diferenciálního kondenzátoru, jehož rotor při otáčení mění kapacitu vůči výstupní elektrodě i proti elektrodě, spojené s kostrou. Na obr. 59 je zřetelně vidět elektrodu výstupní svorky obdélníkového tvaru (část válcové plochy) i vyčnívající otočnou elektrodu rotoru. Rotor je poháněn přes ozubený segment. Ozubené kolečko



Obr. 58. Uprava doteků karuselu a otočný kondenzátor

je dělené a má vymezenou vúli. Výstupní elektroda (obr. 59) je izolovaně uchycena na panelu a spojena přes odpor 50Ω s výstupní svorkou. Mezi výstupní elektrodou a kostrou je sevřena slídová destička, která působí jako kondenzátor kapacitního děliče, zapojeného do série s výstupní elektrodou. Celkem je za provozu zakryt stínicím krytem, upevněným šroubkami, zašroubovanými do otvorů, viditelných na obr. 59.

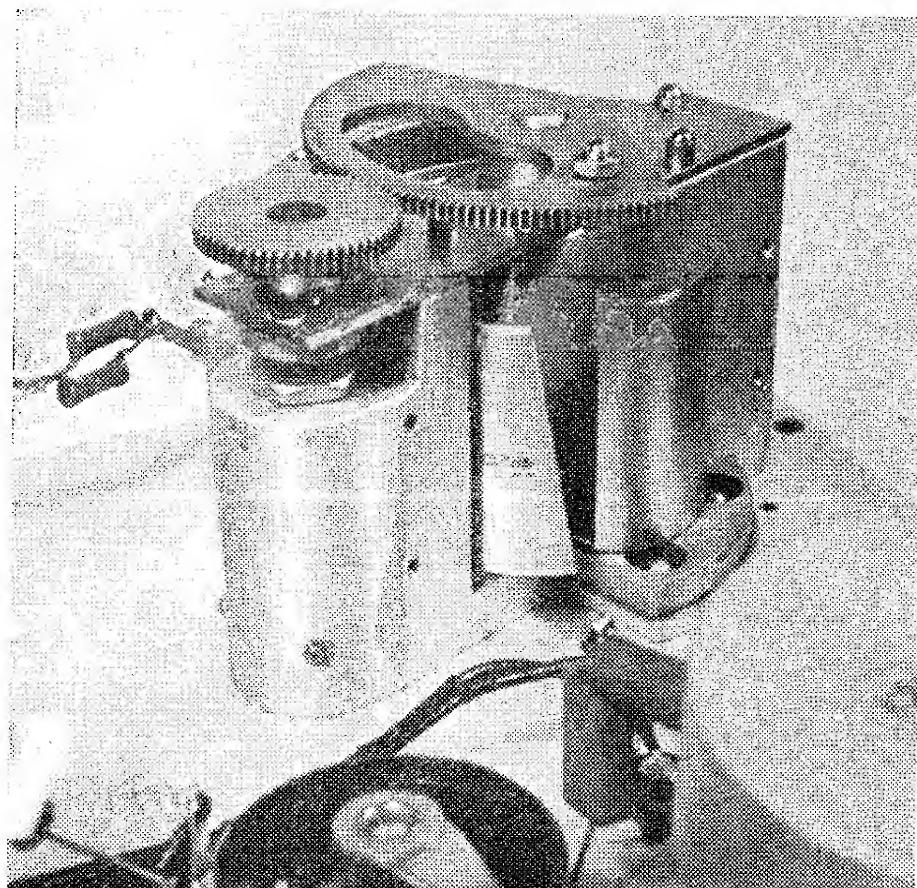
Kapacitním děličem se mění výstupní napětí od $1 \mu V$ do $50 mV$. V zájmu snadného čtení je žádoucí, aby průběh cejchování byl přibližně logaritmický. Vyvážení průběhu se nastavuje justáží polohy zemní elektrody diferenciálního kondenzátoru. Justuje se opěrnými šroubkami, viditelnými na obr. 60. Poloha šroubků se zajišťuje protimatkami.

Signál se přivádí na rotor děliče třecím kontaktem, doléhajícím na rotor (na obr. 59 je vidět na rotoru stopu po tření kontaktu). Generátor je, jak vyplývá ze schématu na obr. 56, vybaven nf generáto-

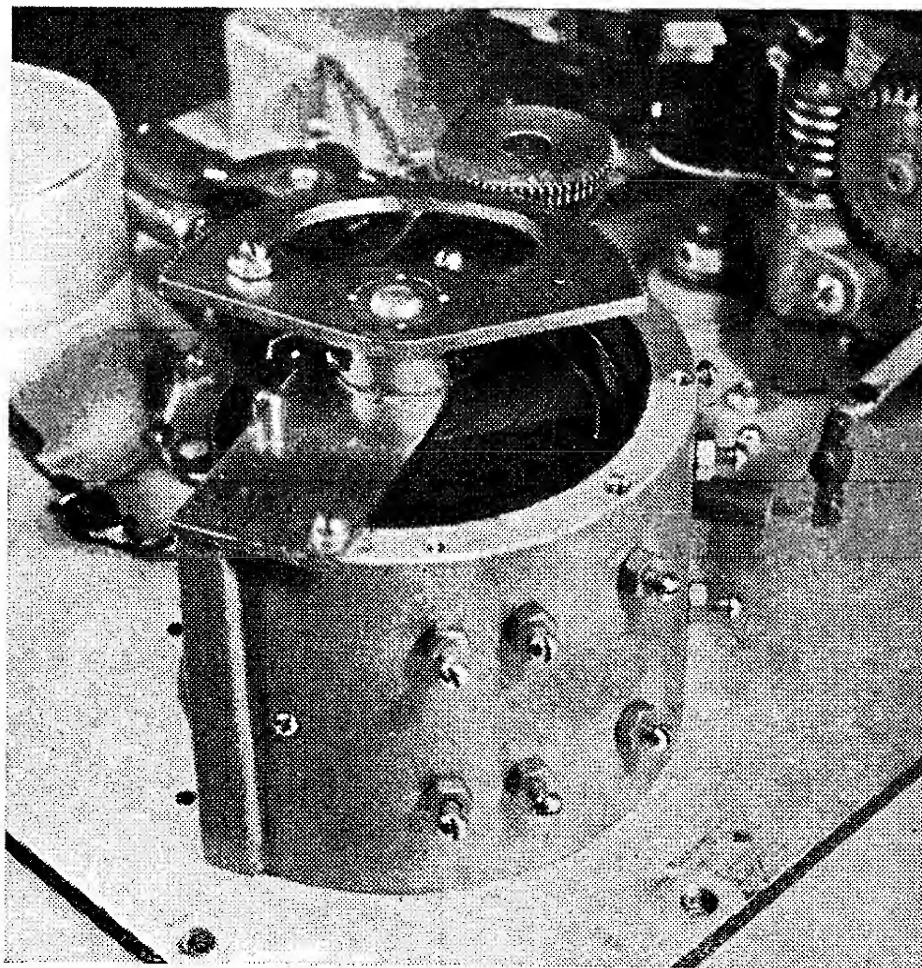
rem modulačního signálu. Hloubka modulace se nastavuje potenciometrem, zapojeným do série s anodovým přívodem vř oscilační elektronky. Na stejný vývod je připojen přes filtrační tlumivku i můstkový usměrňovač a měřidlo, které udává hloubku modulace.

K zabezpečení dostatečně malého rušivého vyzařování jsou přívody k měřidlu i síťový přívod opatřeny několikanásobnými filtry. Celý přístroj je kryt kovovým stíněním.

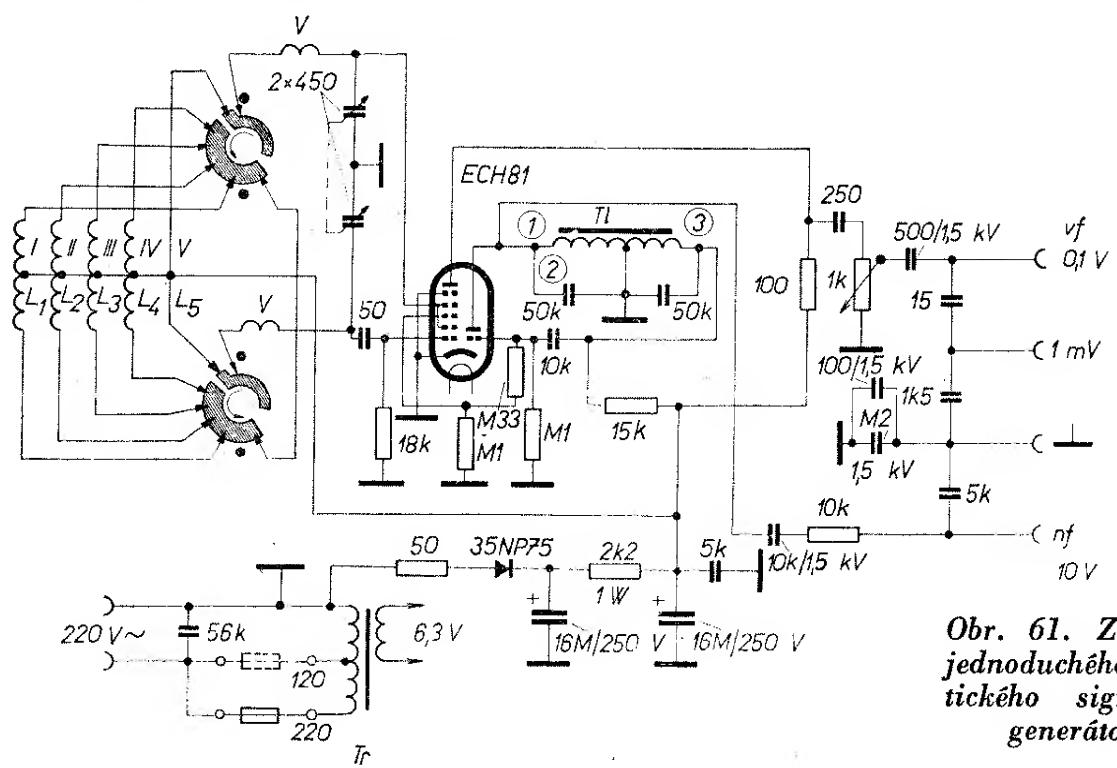
Pozoruhodné je zemnění kladného přívodu napaječe. Je to především proto, aby generátor mohl být jednoduchým způsobem impulsně modulován. Modulaci přístroje je možno vypínat přepínačem, kterým se elektronka nf oscilátoru přepíná, takže pracuje jako zesilovač a po připojení vnějšího zdroje modulace moduluje vř oscilátor přiváděným signálem. Oscilační elektronka se může impulsně klíčovat tak, že se po přepnutí přepínače zkratuje (elektronkou, kontakty relé apod.) svorka „impuls“ na kostru.



Obr. 59. Detail kapacitního děliče na pětí



Obr. 60. Celkový pohled na výstupní část generátoru



Obr. 61. Zapojení jednoduchého praktického signálního generátoru

I když tento signální generátor svým provedením se spíše blíží k speciálnějším laboratorním přístrojům, je jistě poučný v tom, jak lze pomocí vhodných úprav dosáhnout funkčních charakteristik, vlastních jen drahým přístrojům.

VI. 4. Jednoduchý praktický signální generátor

Snaha po maximálním zjednodušení signálního generátoru a jeho přizpůsobení práci v amatérských podmírkách vedla ke konstrukci generátoru, jehož zapojení vidíme na obr. 61.

Je to zapojení, které jednoduchostí předstihne jedině některý malý pomocný generátor, osazený tranzistory. Přístroj je osazen elektronkou, což by v době tranzistorů u jednoduchého přístroje mohl někdo pokládat za neúčelné. Těžiště práce při výrobě takového přístroje se však soustředuje především kolem součástek laděného obvodu, hlavně cívek. Jejich provedení má vliv jak na překrytí rozsahů, tak i na stabilitu kmitočtu, mechanickou odolnost apod. Tato kritéria jsou však stejná pro obě varianty, elektronkovou i tranzistorovou. Z tohoto hlediska nemá tedy přednost ani tranzistor, ani elektronka.

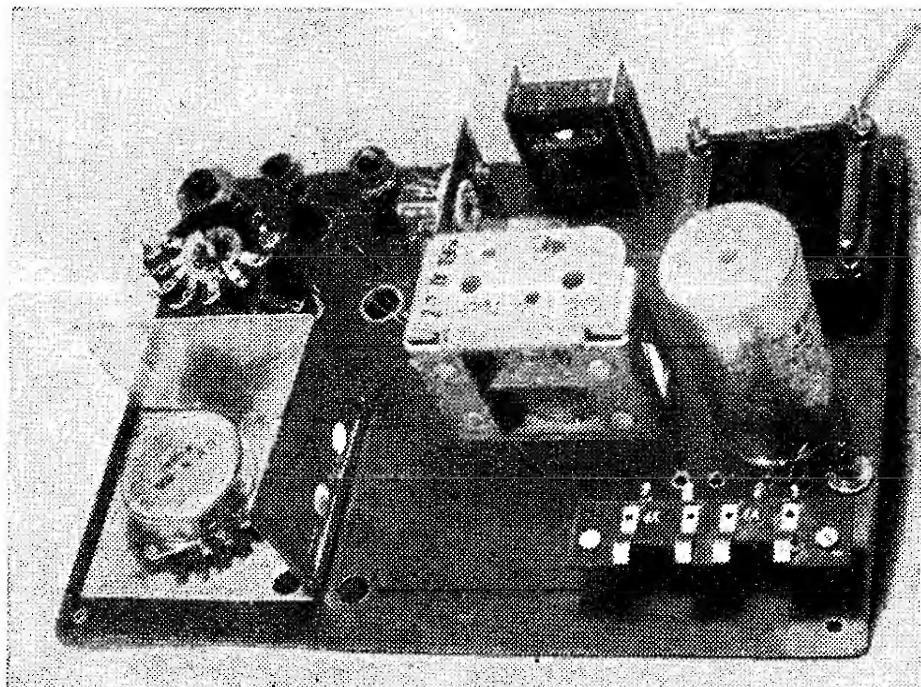
Velikou výhodou elektronky je, že osciluje bezpečně do vysokých kmitočtů. V našem případě kmitá ještě spolehlivě na 110 MHz. Přitom amplituda druhé harmonické je značná, takže přístrojem vlastně obsáhneme bez nesnází kmitočty až do 220 MHz.

Přístroj se tedy hodí i pro práce na televizních přijímačích, což je jistě vítaný přínos.

Dalšího zjednodušení se dosahuje univerzálním napájením přístroje. Je to neobvyklé u těchto přístrojů, ale pokud dbáme zásad bezpečnosti při stavbě, nemůže být námitek ani proti tomuto nezvyklému uspořádání.

Univerzální napájení přináší úsporu v tom, že nemusíme používat obvyklý síťový transformátor, který je rozměrný, těžký a poměrně drahý. Vystačíme s jednoduchým žhavicím transformátorkem, který zhotovíme buď z nějakého zvonkového transformátoru, nebo navineme na téměř libovolné jádro. Značné zjednodušení nastává i u obvodu řízení výstupního napětí.

Všimneme si nejprve srdce celého přístroje: laděný obvod je soustředěn kolem dvojitého otočného kondenzátoru PN 705 25, přišroubovaného k nosné pertinaxové desce.



Obr. 62. Montáž na spodní straně pertinaxového panelu

S ohledem na bezpečnost obsluhy musíme totiž celý přístroj montovat izolovaně do skřínky. Na nosné pertinaxové desce se zemní spoj propojí pomocí silného měděného vodiče ($\varnothing 1,5$ mm). Dbáme přitom zásady centrální významové země, např. na kostře otočného kondenzátoru. Zemní spoj zůstává trvale galvanicky vodivě propojen s jedním pólem sítě. Proto musíme všechny hřídele otočných prvků (ladičího kondenzátoru, vlnového přepínače a zeslabovače – atenuátoru), izolovat silnější igelitovou trubičkou nebo pertinaxovou trubkou v místě průchodu čelním panelem. Ovládací knoflíky nesmí mít vyčnívající červíky nebo jiné kovové vložky, kterých by se mohla obsluha i náhodně dotknout. Tři oddělovací kondenzátory na výstupu (500 pF, 10 nF a $0,22 \mu\text{F}$) musí být ze stejného důvodu na provozní napětí 1000 V, nebo lépe 1600 V.

Nosná pertinaxová deska rozměru 170×235 mm je upevněna přes distanční sloupyky vysoké 15 mm k čelní stěně skřínky. Z obr. 62 je patrné, že otočný kondenzátor je přišroubován tak, že jeho hřídel prochází čelní stěnou 95 mm od horního okraje a 90 mm od pravého okraje stěny. Otvor v čelní stěně má $\varnothing 15$ mm, aby mohla být na hřídel navlečena prodlužovací hřídelka, izolovaná pertinaxovou trubičkou.

V horním levém rohu panelu jsou na pertinaxové desce upevněny cívky, sou-

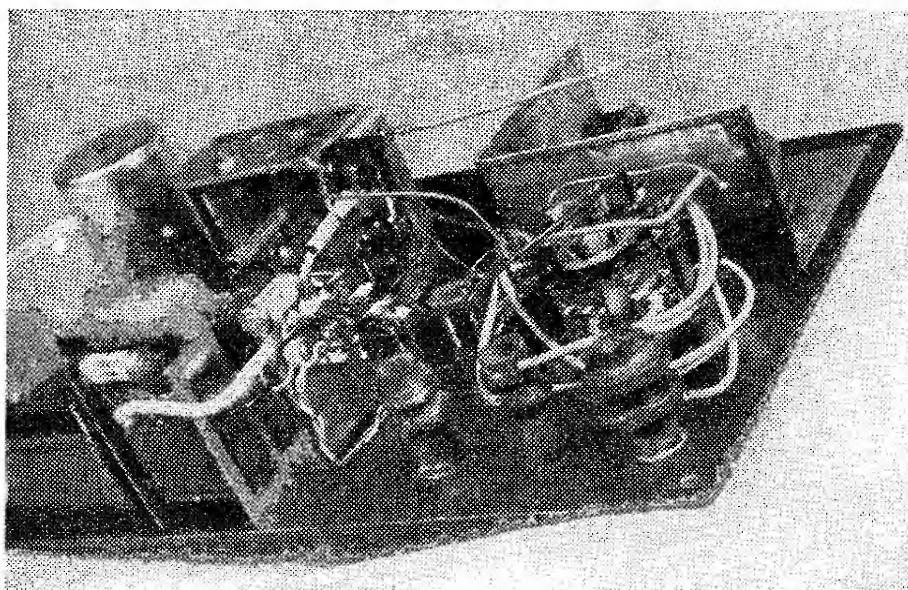
středěné kolem přepínače. Cívky se přepínají podobně jako u přístroje na obr. 55; má to četné výhody. K přepínání se výborně hodí 12polohový hvězdicový přepínač, který upravíme podle potřeby.

Úpravou, vyznačenou na obr. 61, se současně zkratují cívky nepoužívaných nižších kmitočtových rozsahů. Zabraňuje to výskytu „dér“ v oscilacích, které by mohly vznikat ssacím účinkem sousední cívky.

Efektní úprava by vznikla, kdybychom použili k přepínání tlačítkového přepínačního agregátu z některého rozhlasového přijímače.

Indukčnost cívek pro jednotlivé rozsahy má být:

$L_1 = 4000 \mu\text{H}$; vineme na kostru $\varnothing 12$ mm 2×350 závitů křížově, drát $\varnothing 0,12$ mm lak + hedvábí, odbočka na 350. závitu. Šířka vinutí 4 mm. $L_2 = 460 \mu\text{H}$; stejná kostra, vineme výřezem $20 \times 0,05$ nebo drátem $\varnothing 0,2$ mm + hedvábí křížově 2×100 záv., odbočka na 100. závitu. Šířka vinutí 4 mm. $L_3 = 33 \mu\text{H}$; stejná kostra, vinuto drátem $\varnothing 0,3$ závit vedle závitu nebo dovoce 2×32 záv., odbočka na 32. záv. $L_4 = 2 \mu\text{H}$; stejná kostra, 12 záv. drátu $\varnothing 0,5$ mm lak, odbočka na 6. záv. $L_5 = 0,12 \mu\text{H}$; drát $\varnothing 1,5$ mm, kterým se vytvoří smyčka v obvodu elektronka – otočný kondenzátor – přepínač – zkratovací oblouček.



Obr. 63. Detail úpravy cívek a přepínače

Je lépe nepoužívat cívky s feromagnetickým jádrem, protože se tím snižuje spolehlivost cejchování. Jádra stárnou a teplotní cykly způsobí postupně pootočení jader, takže po čase dojde k rozladdení. Zůstaneme proto raději u cívek vzdušných, které v případě nesouhlasu raději opravíme změnou počtu závitů.

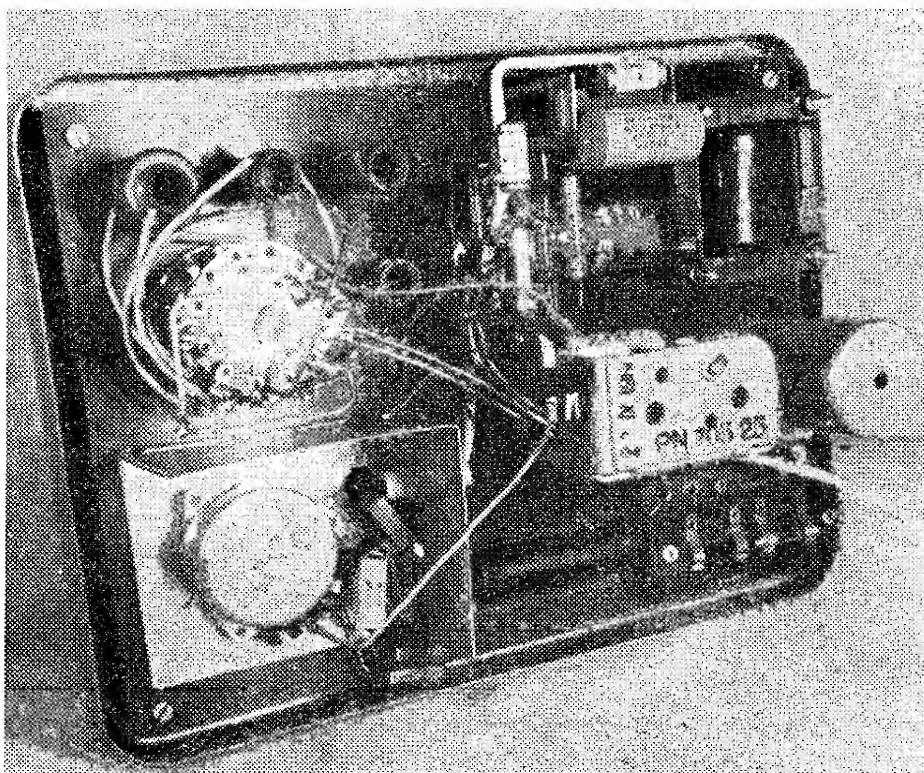
Laděný obvod budí elektronka ECH81. Ta je zapojena jako elektronově vázaný oscilátor; s laděným obvodem je spojena mřížka g_1 a $g_2 + g_4$, která v tomto případě působí jako anoda triody. Třetí mřížkou se vf signál moduluje nf kmitočtem. Použitý ladicí kondenzátor má velké rozpětí kapacity. Elektronka kmitá ochotně až do kmitočtu 110 MHz, ale s rostoucí kapacitou a klesajícím kmitočtem klesá amplituda vf napětí. Proto počítejme s mezním kmitočtem asi 30 MHz, na nějž má rozhodující vliv i montáž. Otočný kondenzátor umístíme co nejblíže k elektronce, aby při vzniku kapacity nad určitou hodnotu oscilace nepřeskočily stabilně do oblasti asi $200 \div 300$ MHz. Elektronka může kmitat s přívody od součástek jako indukčnostmi, kapacita ladicího kondenzátoru tvoří prakticky zkrat a uplatňují se vnitřní kapacity elektronky. Nejvhodnější uspořádání je

takové, kdy elektronka je připojena na jednu stranu ladicího kondenzátoru a smyčka indukčnosti na druhou. Desky statoru kondenzátoru jsou pak přímým pokračováním smyčky indukčnosti (na vyšším kmitočtu) a ladící kapacita se uplatňuje co nejblíže k elektronce.

Modulační napětí se přivádí na mřížku g_3 heptody. Kdyby docházelo k přemodulovalní signálu, stačí připojit g_3 na odbočku mřížkového svodu triody, nebo zapojit zkusmo zvolený odpor do série s přívodem.

Vysokofrekvenční napětí odebíráme z anodového odporu 100Ω . Na odpor se váže přes kondenzátor 250 pF dělič napětí, potenciometr $1 \text{ k}\Omega$. Potenciometr je bez obvyklého vypínače, přístroj vypínáme vytažením síťové šňůry ze sítě. Výstupní dělič, který navazuje na potenciometr, je opatřen dvěma svorkami: pro plné napětí a pro napětí zeslabené asi na $1 : 100$. Třetí svorka umožňuje odebírat samotný nf signál s napětím asi 10 V .

O síťové části jenom krátce. Žhavicí transformátor je výhodný i potud, že umožňuje snadno odebírat napětí 120 V z odbočky primáru. Napětí 120 V zcela postačuje k provozu generátoru. Usměr-



Obr. 64. Detail výstupní části děliče signálního generátoru (vlevo dole), od děleného stínící plechovou komůrkou

nění střídavého napětí obstarává křemíková výkonová dioda 35NP75 (nebo 36NP75). Na filtrování postačí malý elektrolytický kondenzátor, např. typu TC534 16 + 16 μ F/250 V nebo pod.

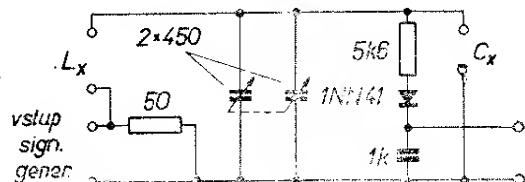
K zamezení zpětného vyzařování v frekvenci signálu do síťového přívodu překlene se síťový přívod kondenzátorem 56 nF (např. TC186 56 k/1600 V nebo TC176 47 k/1600 V). Značného snížení vyzařování se dosáhne i vyvedením středních odboček cívek a jejich propojením pomocí kondenzátoru s kostrou oscilátoru. Kondenzátor 5 nF, zapojený paralelně k elektrolytickému kondenzátoru, umístíme co nejtěsněji k elektronice a otočnému kondenzátoru.

Celkové mechanické provedení je patrné z obr. 62 a 63. Na obr. 63 je detail uspořádání cívek a přepínače, na obr. 64 – výstupního děliče. Celková jednoduchost a nenáročnost přístroje se projevuje i v jeho mechanickém provedení. Skříňka je plechová, rozměrů $250 \times 190 \times 120$ mm. Stupnice kreslíme na kladívkovém papíře, který sevřeme mezi kotouče z plexi.

VI. 5. Přípravek pro měření indukčnosti a kapacit

Signálního generátoru lze používat nejen ke sladování přijímačů. Pomocí jednoduchého přípravku s otočným kondenzátorem a normálovou cívkou získáme možnost měřit s dostatečnou přesností kapacity kondenzátorů od 10 pF asi do 20 000 pF a indukčnosti cívek, tlumivek a vf filtrů od 1 μ H do 25 mH. Při měření výstupního napětí pomocí elektronkového voltmetu máme možnost měřit činitele jakosti Q laděných obvodů nebo cívek.

Základní myšlenka tohoto použití je v tom, že lze pomocí dostatečně přesně



Obr. 65. Zapojení přípravku pro měření indukčnosti a kapacit

cejchovaného signálního generátoru zjistit rezonanční kmitočet laděného obvodu, složeného z neznámé indukčnosti L_x a normálové kapacity C_n , nebo naopak z normálové indukčnosti L_n a neznámé kapacity C_x . Tím snadno zjistíme jednu z neznámých zbývajících veličin pomocí vztahu

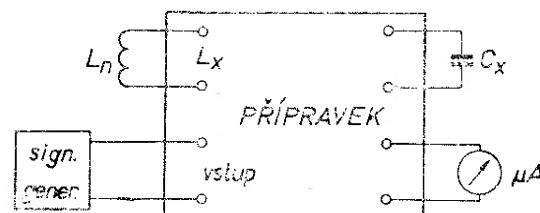
$$f_o = \frac{5033}{\sqrt{LC}} \quad [\text{kHz; pF, mH}]$$

Zvolíme-li hodnotu normálové kapacity 100 pF a normálové indukčnosti 100 μ H, potom se výrazy v rovnicích značně zjednoduší a nabývají prakticky velmi výhodného tvaru

$$L_x = \frac{253 \cdot 10^6}{f_0^2} \quad \text{nebo } C_x = \frac{253 \cdot 10^6}{f_0^2} \\ [\mu\text{H; kHz}] [\text{pF; kHz}]$$

Je jasné, že normálová cívka musí mít dostatečnou stabilitu své indukčnosti. Proto nelze doporučit cívku na feromagnetickém jádře. Nejvýhodnější je válcová vzdušná cívka, vinutá drátem \varnothing 0,22 CuPH (lak + hedvábí). Vinutí uložíme na trubičku z kvalitního izolantu průměru 25 mm. Kvalitní izolant je např. trubička z křemenného skla nebo keramiky, výborně vyhoví i tělíska z trotilu.

Vinutí má 70 závitů, navinutých těsně vedle sebe. Vývod cívky uchytíme pokud možno pevně, aby při provozu nedošlo k jeho poškození. Účelné je tělisko cívky opatřit na dolním konci dvěma banánkovými kolíčky ve vzdálenosti 19 mm. Na tyto vývody připájíme vý-



Obr. 66. Zapojení vnějších přívodů na přípravek

vody cívky. Přípravek postačí opatřit banákovými svorkami (svorkami, které lze použít jak k uchycení vodiče, tak i jako zdírku banáku), do kterých normálovou cívku jednoduše zasuneme. Jako normálový kondenzátor se hodí dvojitý otočný kondenzátor typu PN 705 25 s ložiskem uloženým na kuličkách, který je obvyklý v rozhlasových přijímačích. Kapacita kondenzátoru $2 \times 450 \text{ pF}$ je vhodná pro naše účely. Na hřídel ladícího kondenzátoru namontujeme ukazatel z plexi s ryskou, která usnadní čtení na stupnici. Schéma celého přípravku je na obr. 65. Pokud se rozhodneme pro bakelitovou skříňku (B7 apod.), nezapomeneme vnitřek skříňky vyložit tenkým měděným plechem. Skříňku opatříme vhodnými svorkami, kombinovanými se zdírkami pro banánky.

Předpokladem úspěšného měření je dostatečná přesnost velikosti indukčnosti cívky. Tu lze upravit změnou počtu závitů např. tak, že ji spojíme paralelně s kapacitou 1000 pF (kondenzátor známé kapacity, ověřené na jiném měřiči kapacity). Cívka s tímto kondenzátorem musí rezonovat na kmitočtu 540 kHz . Jako indikátoru rezonance použijeme mikroampérmetru s citlivostí, alespoň $100 \mu\text{A}$. Stejnosměrné napětí pro indikátor usměrníme jakoukoliv germaniovou diodou. Odpór R_2 zmenšuje zatížení laděného obvodu, působené diodou.

Několik slov o tom, jak přístrojem měřit. Malé kondenzátory měříme způsobem, naznačeným na obr. 66. Měřený kondenzátor připojujeme na svorky C_x . Cejchovaný normálový otočný kondenzátor natočíme do polohy minimální kapacity. Laděním signálního generátoru nalezneme kmitočet, na kterém obvod rezonuje. Potom odpojíme neznámý kondenzátor a normálovým kondenzátorem znovu naladíme rezonanci. Rozdíl mezi původní kapacitou a kapacitou po odpojení udává kapacitu neznámého kondenzátoru.

Máme-li za úkol změřit kapacitu kondenzátoru většího, než 1000 pF (asi do $25\,000 \text{ pF}$), pak nastavujeme normálový kondenzátor na hodnotu 100 pF . Velikost neznámého kondenzátoru zjistíme z rovnice

$$C_x = \frac{253}{f_0^2} - 100 \quad [\text{pF; MHz}]$$

dosazením zjištěného kmitočtu.

Kondenzátory v rozpětí kapacity asi od 30 pF do 900 pF měříme přímou substitucí (náhradou, dosazením).

Indukčnosti do $1000 \mu\text{H}$ měříme podobně jako kapacity. Místo normálové cívky $100 \mu\text{H}$ připojíme k měřicímu přípravku neznámou cívku L_x . S ohledem na vlastní kapacitu cívky, kterou odhadujeme na 5 pF , nastavíme normálový kondenzátor na 95 pF . Nyní měníme kmitočet signálního generátoru tak dlouho, až se podaří nalézt rezonanci. Indukčnost měřené cívky zjistíme z rovnice

$$L_x = \frac{253 \cdot 10^6}{f_0^2} \quad [\mu\text{H; kHz}]$$

Přípravkem je možno zjišťovat i vlastní kapacitu cívky. Vlastní kapacita cívky způsobuje chybu při měření indukčnosti. V případech, kdy nás vlastní kapacita cívky zajímá, měříme indukčnost na dvou různých kmitočtech a to tak, že pro druhé měření volíme dvojnásobně vyšší kmitočet. Potom vypočítáme vlastní kapacitu cívky z rovnice

$$C_o = \frac{C_2 - 4C_1}{3}$$

kde je C_1 – kapacita na vyšším kmitočtu
 C_2 – kapacita na nižším kmitočtu.

Tak např. měříme vlastní kapacitu cívky L_x s normálovou kapacitou 480 pF . Zjistíme rezonanční kmitočet 725 kHz . Potom nastavíme signální generátor na dvojnásobný kmitočet, tj. 1450 kHz . Normálovým kondenzátorem otáčíme tak dlouho až nalezneme znova rezonanci (např. při $C_1 = 110 \text{ pF}$).

Naměřené hodnoty dosadíme do rovnice a vypočítáme

$$C_o = \frac{480 - 4 \cdot 110}{3} = \frac{480 - 440}{3} = \frac{40}{3} = 13 \text{ pF.}$$

Takto zjištěná kapacita je poměrně veliká, vyskytuje se např. u vícevrstvových cívek. Válcové cívky mívají vlastní kapacitu menší, zpravidla 2 až 5 pF.

VI. 6. Tranzistorové zdroje vf signálu

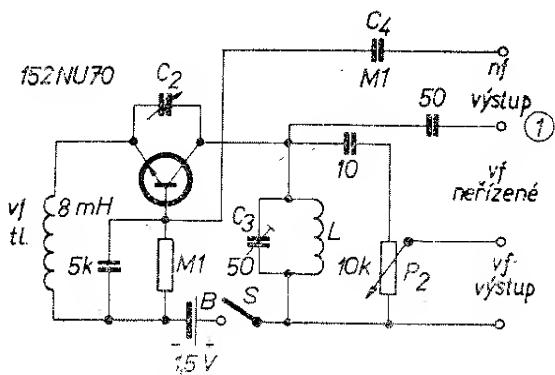
Pro některé účely může vzniknout potřeba krajně jednoduchého a malého zdroje signálu. Zajímavý příklad řešení takového zdroje signálu vidíme na obr. 67. Zapojení pracuje jako vf i jako tónový generátor. Vf generátor kmitá na kmitočtu laděného obvodu L a C_3 . Kapacita kondenzátoru C_3 , uvedená na obrázku, je poměrně malá. Pro kmitočet např. 470 kHz to znamená indukčnost asi 2,5 mH. Tento kmitočet se hodí především ke sládování mf zesilovačů přijímačů. Přitom snadno zjistíme harmonické kmitočty na dvojnásobku i trojnásobku základního kmitočtu.

Vf napětí lze odebírat v plné amplitudě z vývodu 1. Část napětí můžeme odebírat z výstupu děliče – potenciometru P_2 .

Volbou dostatečně veliké kapacity zpětnovazebního kondenzátoru C_2 dojde k rázování oscilátoru; nasadí superreakce a vf napětí je přerušováno v rytmu slyšitelného tónu. To umožňuje pracovat s generátorem jako s každým, který má zdroj modulace.

Z báze tranzistoru můžeme odebírat rázovací kmitočet přes kondenzátor C_4 a používat ho jako obvyklého nízkofrekvenčního signálu. V řadě případů nahradí tedy tento malý přístroj multivibrátorový injektor signálu.

Jiný malý pomocný vf generátor osazený tranzistorem vidíme na obr. 68. Je



Obr. 67. Jednoduchý tranzistorový zdroj vf signálu

pevně naladěn na některé nejčastěji používané kmitočty (např. na mf kmitočet 465 kHz a sládovací kmitočty v pásmu středních a dlouhých vln).

Použitý tranzistor 154NU70 kmitá bezpečně v pásmu středních vln. Vf napětí se odebírá z děliče napětí, zapojeného do báze tranzistoru. Přístroj je napájen z jediného monočlánku o napětí 1,5 V.

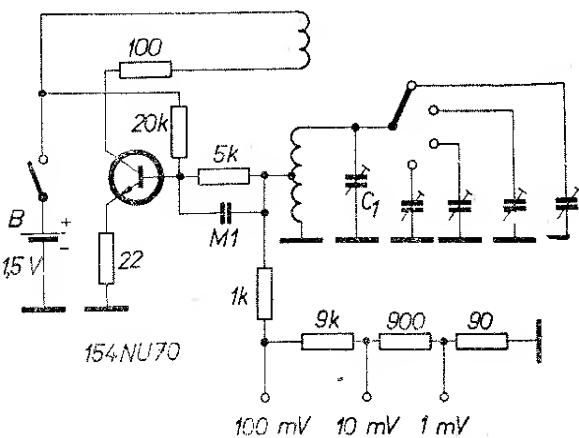
Dokonalejší, tranzistory osazený signální generátor vidíme na obr. 69. Je použito tranzistorů např. typu 156NU70.

Signál z oscilátoru se vede na bázi oddělovacího stupně, osazeného rovněž tranzistorem 156NU70. Vf signál můžeme modulovat nf signálem, vyráběným oscilátorem (tranzistor 103 NU70). V kolektoru tranzistoru je malý transformátor, přes který se zavádí do báze zpětná vazba. Nf kmitočet se vede vazebním kondenzátorem 10 nF na bázi oddělovacího tranzistoru. V oddělovacím stupni potom dochází k modulaci výstupního signálu.

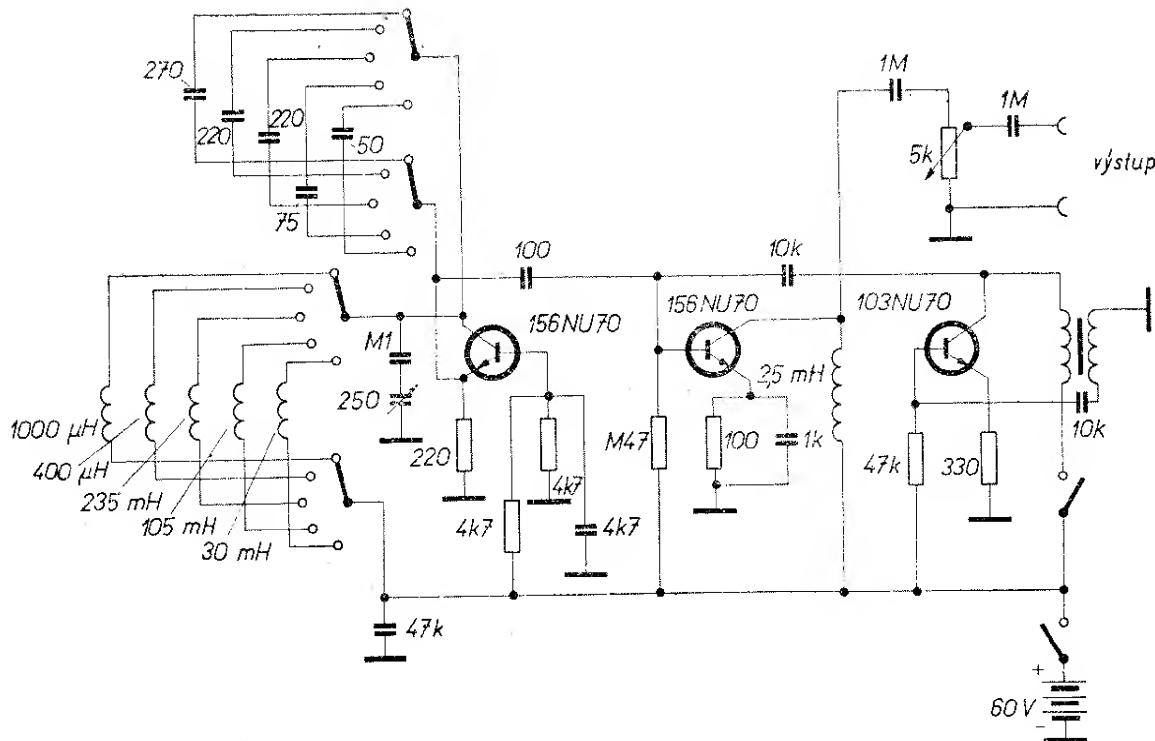
Vf napětí se odebírá z kolektoru oddělovacího stupně přes vazební kondenzátor a potenciometr 5 kΩ. Potenciometrem se nastavuje úroveň výstupního napětí. S tranzistory 156NU70 lze snadno překrýt kmitočtový rozsah do 5 MHz i výše.

K napájení postačí 4 malé tužkové monočlánky. Napájení z baterie nevyžaduje filtrování usměrněného sítového napětí a je po všech stránkách lacinější.

Je nutno si uvědomit, že i zde platí zásada: má-li být dosaženo dostatečné



Obr. 68. Tranzistorový zdroj vf signálu s volbou pevných kmitočtů



Obr. 69. Tranzistorový signální generátor

stability v provozu, je nutné řešit laděný obvod s krajní pečlivostí. S ohledem na parametry tranzistoru, tolik proměnné s teplotou a volbou pracovního bodu, je však nutno počítat s menší stabilitou generátoru, než je tomu u elektronkových přístrojů.

Literatura:

- [1] Melezinek, A.: Základy radiotechnického měření, SNTL, Praha 1959
- [2] Donát, K.: Měření a výpočty v amatérské radiotechnice, Naše vojsko, Praha 1961
- [3] Hyan, J. T. inž.: Měření a sladování amatérských přijímačů, SNTL, Praha 1964
- [4] Hyan, J. T. inž.: Tranzistorový měřič malých kapacit, AR 2/1961, str. 37—39
- [5] Hyan, J. T. inž.: Výpočet a konstrukce měřicích přístrojů, Radiový konstruktér čís. 8, 1956
- [6] Pacák, M.: Fyzikální základy radiotechniky, Orbis, Praha 1943
- [7] Pacák, M.: Měřicí metody a přístroje pro radiotechniku – knižní příloha měsíčníku Elektronik, 1949
- [8] Pacák, M.: Univerzální měřicí přístroj, Elektronik č. 5, 1951
- [9] Chán, B.: Řešení ohmmetru s děličem, AR 3/1960, str. 68—69
- [10] Kaška, I.: Doplněk k měřicímu přístroji na měření odporů, AR 5/1960, str. 128—129
- [11] Hlinka, F.: Doplněk k měření odporů a kondenzátorů Avometem, AR 7/1961, str. 189—191
- [12] Hyan, J. T. inž.: Jak a čím hledat závady v přijímači, Radiový konstruktér čís. 5, 1956
- [13] Sedláček, J. a kol.: Amatérská radiotechnika I a II, Naše vojsko, Praha 1954

TÓNOVÝ GENERÁTOR s malým zkreslením

Inž. Jiří Chýle

Při konstrukci vysoce jakostních nízko-frekvenčních zesilovačů se stále častěji setkáváme s nedostatkem zdroje nezkresleného sinusového signálu. Běžné tovární přístroje dosahují zpravidla zkreslení kolem 1 %. Avšak ani u nejlepších typů, jako je záznějový generátor firmy Brüel a Kjaer, není zkreslení pod hodnotou 0,3 %.

Nezbývá tedy, než si uvedený zdroj nízkofrekvenčního signálu vyrobit se snahou dosáhnout jednoduchými prostředky co nejlepších výsledků. Tato konstrukce vychází ze schématu inž. J. T. Hyana [1] a [2].

Při návrhu bylo sledováno též zajištění maximální stálosti výstupní úrovně, nezávislé na nastaveném kmitočtu. Odpadne tím stálé dostavování výstupního napětí a podstatně se urychlí práce s přístrojem.

Použité zapojení

Popisovaný tónový generátor, jehož schéma je na str. II obálky, byl navržen jako RC oscilátor s kladnou zpětnou vazbou Wienovým členem. Malého zkreslení a sinusové regulace výstupního napětí je dosaženo zavedením záporné vazby, řízené vhodným nelineárním členem, jakým je v našem případě termistor. Ke správné činnosti je nutno zajistit pracovní bod termistoru v oblasti záporného odporu, jak je vidět na obrázku. Je zde několik křivek pro různé hodnoty sériového odporu. V našem případě pracuje termistor na horní křivce se sériovým odporem 300 Ω . Pro rychlejší vyžhavení perličkového termistoru je použito pomocného stejnosměrného proudu, přivedeného odporem R_{11} z kladného napájecího bodu. Pro náš oscilátor je nejvhodnější typ 23 NR 01, nynější označení 13 NR 01/B, výrobek podniku 1. pětiletky Šumperk. Je totiž ze všech typů nejcitlivější, takže

k jeho vyžhavení je třeba nejmenšího napětí a proudu, což nám přináší řadu výhod:

1. Výstupní obvod T_3 je málo zatěžován.
2. Je zavedena co největší negativní vazba přes celý zesilovač.
3. Vstupní impedance zesilovače stoupá, což se projevuje příznivě pro malé zatěžování Wienova členu.

Z obr. 2 vidíme, že postačí výkon 1 mW.

Popis činnosti

Popisovaný oscilátor typu RC je v podstatě třístupňový, stejnosměrně vázaný širokopásmový zesilovač s automatickým řízením zisku termistorem. Vlivem vstupních kapacit tranzistorů vzniká v zesilovači fázový posun na kmitočtech nad 60 kHz. Je proto pomocnou kmitočtově závislou zpětnou vazbou v obvodu tranzistoru T_2 , přivedenou kondenzátorem C_{11} , kompenzován tak, aby oscilátor pracoval spolehlivě do 110 kHz. Z výstupu tranzistoru T_3 , který pracuje jako emitorový sledovač, je Wienovým členem přivedena kladná zpětná vazba na vstup zesilovače. Kmitočet oscilátoru je tedy určen časovou konstantou odporu a kondenzátorů, tvořících Wienův můstek.

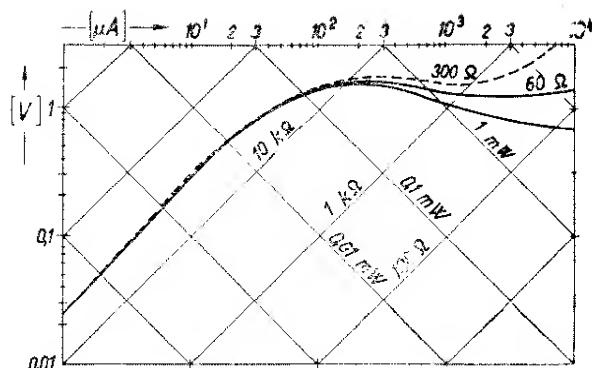
Platí zde vztah $\omega = \frac{1}{2 \pi RC}$. Odpory R_2 , R_3 jsou tvořeny tandemovým potenciometrem a plynule se jimi ladí kmitočet oscilátoru v poměru 1 : 4. Kondenzátory C_1 až C_9 a C_1' až C_9' nastavujeme jednotlivé rozsahy. U popisovaného oscilátoru bylo použito 9 rozsahů, které jsou v poměru 1 : 3, takže nastává potřebné překrývání. Další předností tohoto řešení je, že lze pouhým přepínáním rozsahů

získat kmitočtovou řadu např. 10, 30, 100, 300 Hz, 1, 3, 10, 30 kHz, vhodnou pro rychlé měření kmitočtových charakteristik.

Několik slov o stupnici oscilátoru. Pro všech 8 rozsahů platí 2 společné stupnice. Třetí stupnice je pro rozsah $30 \div 110$ kHz. Výstupní úroveň tónového generátoru lze nastavit plynule potenciometrem R_{13} na jmenovitou hodnotu 1 V. Pak platí stupňovitý napěťový dělič, kterým přepínáme výstupní napětí po 10 dB od 1 V do $100 \mu\text{V}$ v 9 rozsazích. Poslední 2 rozsaky, které nebývají běžné, byly úmyslně voleny pro měření citlivých mikrofonních a magnetofonových zesilovačů. Při konstrukci je však nutno zajistit dokonalou filtraci napájecího napětí a stínění proti magnetickým rozptylovým polím. Pro dosažení minimálního činitela zvlnění byl v napaječi použit tzv. tranzistorový filtrační člen, tvořený tranzistorem T_5 . Filtrační kapacita připojená na bázi tranzistoru T_5 je násobena proudovým zesilovacím členem h_{21e} použitého tranzistoru. Při hodnotě $h_{21e} = 100$ odpovídá tedy filtrační kapacita hodnotě $10\,000 \mu\text{F}$. Amplitudovou stabilitu a plynulé nastavení úrovně lze kontrolovat vestavěným diodovým voltmetrem. Použité měřidlo je typ DR45 Metra Blansko o citlivosti $200 \mu\text{A}$.

Konstrukce přístroje

Tónový generátor byl sestaven na jednotné kuprexitové destičce, která sestává z pole vodivých čtverců 4×4 mm, mezi nimiž jsou mezery 1 mm. Uprostřed čtverců jsou otvory ve vzdálenosti 5 mm od sebe. Tvoří tak jednotný rastrový plošný spoj s izolovanými sousedícími otvory. Takovéto destičky se delší dobu používají v zahraničí u konstrukcí laboratorních vzorků a lze je doporučit. Projení jednotlivých součástek se provádí holými dráty nebo vodiči s textilní izolací. Lze tedy bez návrhu plošných obrazců zhotovit desku stejného uspořádání. Pracnost je však větší a nevyplatí se u většího počtu stejných desek anebo u definitivního zapojení, tam je lépe použít plošných spojů.



Charakteristiky termistoru 13 NR 01/B

Použitý tandemový potenciometr $R_2 R_3$ byl zhotoven mechanickým spojením dvou drátových lineárních potenciometrů o hodnotě $5,6 \text{ k}\Omega$. Na jeho ose je ladicí knoflík, ke kterému je zespodu připevněna průhledná stupnice. Je nakreslena tuší na celuloidové fólii, sevřené dvěma kotoučky z umaplexu. Ryska na panelu určuje nastavený kmitočet.

Pro snadnější kontrolu při uvádění do provozu jsou uvedeny naměřené hodnoty napětí na jednotlivých tranzistorech přístrojem Metra DU 10 proti zemní svorce.

Tranzistor T_1 $U_K = 1,4 \text{ V}$,
 T_3 $U_E = 13,6 \text{ V}$,

tranzistor T_2 $U_K = 14 \text{ V}$,
 T_4 $U_E = 14 \text{ V}$.

Odporem $R_8 = 0,22 \text{ M}\Omega$ nastavíme minimální zkreslení tónového generátoru.

Odporem $R_{17} = 1 \text{ k}\Omega$ nastavíme 1 V na stupnici milivoltmetru. Jednotlivé kmitočtové rozsahy nutno cíjehovat nastavením kondenzátorů $C_1 (C_1')$ až $C_9 (C_9')$ tak, aby platila stupnice.

Technické údaje tónového generátoru:

Kmitočtový rozsah: $5 \text{ Hz} \div 110 \text{ kHz}$ se třemi stupnicemi v 9 rozsazích:

$5 \text{ Hz} \div 20 \text{ Hz}, 15 \text{ Hz} \div 60 \text{ Hz}, 50 \text{ Hz} \div 200 \text{ Hz}, 150 \text{ Hz} \div 600 \text{ Hz}, 500 \text{ Hz} \div 2 \text{ kHz}, 1,5 \text{ kHz} \div 6 \text{ kHz}, 5 \text{ kHz} \div 20 \text{ kHz}, 15 \text{ kHz} \div 60 \text{ kHz}, 30 \text{ kHz} \div 110 \text{ kHz}$

Harmonické zkreslení:

$$100 \text{ Hz} \div 200 \text{ Hz} \leq 0,2 \%$$
$$400 \text{ Hz} \div 20 \text{ kHz} < 0,1 \%$$

Výstupní napětí: Základní napětí 0 \div $\pm 1,5$ V plynule nastavitelné. Na výstupní svorky je připojeno přes napěťový dělič po 10 dB stupních v poměru 1 : 3 v devíti rozsazích 1 V \div $\pm 100 \mu\text{V}$

Stálost výstupního napětí: V rozsahu 5 Hz \div 100 kHz je stabilita lepší než $\pm 0,01$ Np (0,09 dB)

Výstupní impedance: $< 30 \Omega$

Napájení: st 220 V / 120 V; 50 Hz
ss 24 V/22 mA

[1] Inž. J. T. Hyan: Měření a sladování amatérských přijímačů, SNTL, Praha 1964

[2] Inž. J. T. Hyan: Tranzistorový RC generátor, AR 2/1962, str. 38—41

NF milivoltmetr do 30 MHz

Inž. Ivo Chládek

Tento přístroj je velmi jednoduchý a poměrně levný. Možnosti použití jsou přitom velmi široké. Lze s ním měřit střídavá napětí od 1 mV do 300 V_{ef} v deseti rozsazích (od 10 mV do 300 V), v rozsahu kmitočtů 20 Hz \div 3 MHz s chybou menší

než 3 %. Jako indikátor lze přístroje použít až do 15 MHz. Vstupní odpor je okolo 0,5 M Ω na rozsazích 10 mV až 1 V a 1 M Ω na rozsazích 3 až 300 V. Spotřeba z baterie je asi 4 mA. Napětí musí být stabilizováno, aby byla dodržena přes-

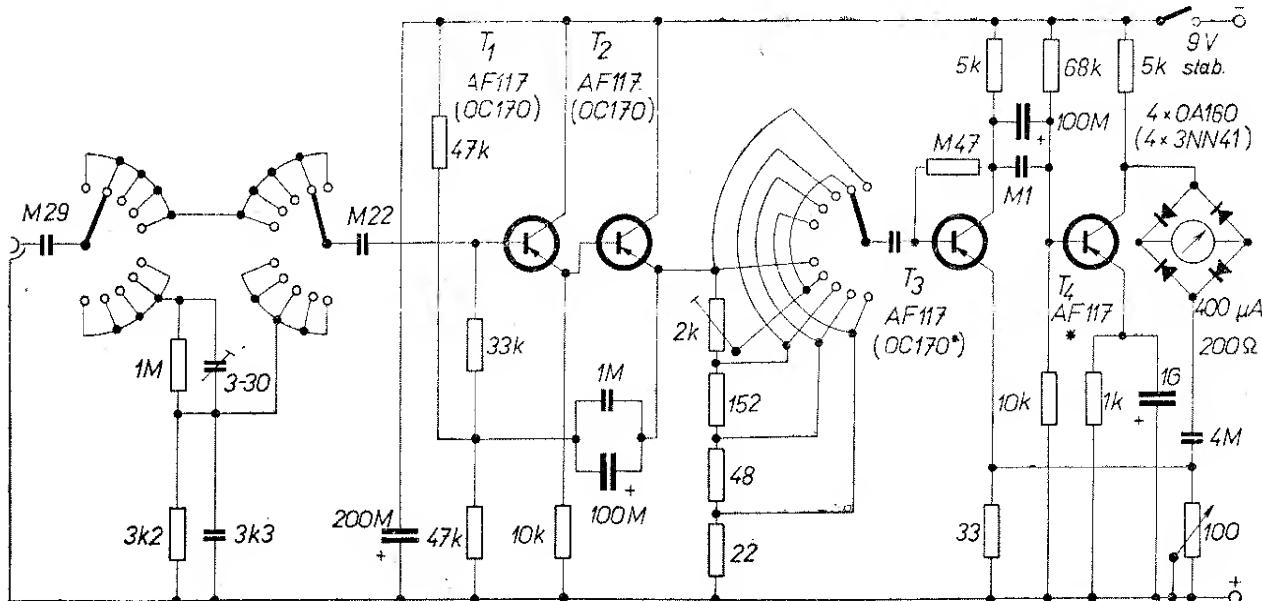


Schéma nízkofrekvenčního milivoltmetru

nost přístroje. Použité tranzistory 0C170 musí mít co nejvyšší proudové zesílení.

Vstupní obvod s tranzistory T_1 , T_2 je zapojen jako dvojitý emitorový sledovač pro dosažení vysokého vstupního odporu. Širokopásmový zesilovač T_3 , T_4 má pro vyrovnání kmitočtové charakteristiky silnou zápornou zpětnou vazbu (asi 26 dB) z výstupního Graetzova usměrňovače do emitoru T_3 . Bez zpětné vazby je citlivost zesilovače T_3 , T_4 mnohem vyšší (pod 1 mV), kmitočtová charakteristika však není rovná v tak širokém rozsahu kmitočtů.

Po připojení baterie musí být ručka měřidla na nule. Pokud tomu tak není, šumí první tranzistor a je nutno jej vyměnit. Cejchujeme i nastavujeme na nejcitlivějším rozsahu 10 mV. Na vstup milivoltmetru přivedeme střídavé napětí 10 mV (kmitočet okolo 10 kHz). Potenciometrem 100 Ω v emitoru T_3 nastavíme plnou výchylku měřicího přístroje. Pak ocejchujeme stupnici pro 10 mV. Tato je prakticky lineární. Podle připojené tabulky nakreslíme i druhou stupnici s plnou výchylkou 3,16 a stupnici pro dB. Poměr stupnic musí být podle tabulky, aby souhlasilo odečítání dB při přepnutí z jednoho rozsahu na druhý.

„Doladíme“ přesně odpory děliče v emitoru T_2 . Na přesnosti jejich nastavení závisí přesnost celého přístroje. Vstupní dělič je nutno kompenzovat, což provedeme na kmitočtu 2,5 \div 3 MHz napětím 3 V (nastavením trimru 30 pF).

Konstrukce není příliš kritická, použijeme-li co nejmenších (rozměrově) vazebních kondenzátorů. Přepínač rozsahů by měl mít co nejmenší kapacitu, vyhoví běžné vlnové přepínače TESLA. Přístroj musí být v kovové krabičce, aby byl dokonale odstíněn od vlivu vnějších zdrojů st napětí. Vstup je připojen na souosou zástrčku běžného nízkofrekvenčního provedení.

Celek lze napájet ze tří plochých baterií, přičemž napětí je stabilizováno Zenerovou diodou 4 nebo 5NZ70, se stabilizovaným napětím okolo 9 V. Tento přístroj byl sestrojen podle článku v časopise Funk-schau 8/1964.

Rozsah 3	Rozsah 10	Rozsah 10	Rozsah dB
3,16	10,0	10,0	+ 3
3,00	9,50	8,90	+ 2
2,9	9,17	7,94	+ 1
2,8	8,86	7,07	0
2,7	8,55	6,30	- 1
2,6	8,225	5,62	- 2
2,5	7,91	5,01	- 3
2,4	7,595	4,47	- 4
2,3	7,28	3,98	- 5
2,2	6,96	3,55	- 6
2,1	6,645	3,16	- 7
2,0	6,33	2,82	- 8
1,9	6,01	2,51	- 9
1,8	5,695	2,24	- 10
1,7	5,375	1,993	- 11
1,6	5,06	1,777	- 12
1,5	4,745		
1,4	4,427		
1,3	4,11		
1,2	3,797		
1,1	3,48		
1,0	3,164		
0,9	2,847		
0,8	2,53		
0,7	2,214		
0,6	1,897		
0,5	1,581		
0,4	1,264		
0,3	0,949		
0,2	0,6325		
0,1	0,316		

NEZAPOMEŇTE

PŘÍŠTÍ ČÍSLO RK BUDĚ VĚNOVÁNO

ELEKTRONICE V AUTOMOBILU

Postavte si GRID-DIP metr

Vladimír Novotný

Dříve, nežli jsem se odvážil nabídnout popisovaný přístroj ke zveřejnění, uvážil jsem všechny ctnosti dosud publikovaných měřicích pomůcek a přišel jsem k názoru, že tento grid-dipmetr má přece jen některé přednosti.

Za prvé rozsah měřených pásem 100 kHz \div 200 MHz, za druhé odpadá dosti drahý měřicí přístroj, který nahrazuje elektronka EM 84, za třetí má douteavkový tónový generátor, kterým je možno cvičit telegrafii a kterým je měřicí oscilátor modulován, takže při hledání závad v televizorech ukazuje vodorovné pruhy na obrazovce (podmínkou je však naladit přístroj na správný kanál). V televizní technice je téměř nepostradatelný, neboť jím lze snadno zjistit zdali je závada v kanálovém voliči, v obrazové nebo zvukové části.

O použití v radiotechnice a hlavně VKV technice ani nemluvím, neboť si bez něj tuto práci nedovedu vůbec představit.

Co říci ke konstrukci. Důležité je dodržet co nejkratší spoje ve vf obvodu. Ladící kondenzátor je dvojitý 2×500 pF, používaný v přijímači Talisman. Jako zásuvky pro výměnné cívky, kterých je celkem šest, jsem použil objímku pro startér ze zářivkového tělesa a staré vadné startéry (bakelitové) jako krytu pro jednotlivé cívky. Přitom některá z dobrých spínacích douteavek může být použita jako tónový generátor. Co se týká cívek, neuvádím u dlouhých a středních vln počet závitů a proto přesný rozsah se nastaví železovým jádrem aneb paralelní kapacitou. Musí se to prostě vejít do krytu startéru. Cívky umístěte do horního konce, dolů kondenzátor a obě součásti se upevní epoxydovou pryskyřicí.

1. cívka dlouhovlnná – slabé vinutí s jádrem a kapacitou, rozsah 0,1 \div 0,3 MHz
2. cívka středovlnná – slabé vinutí s jádrem a kapacitou, rozsah 0,3 \div 1,3 MHz
3. cívka krátkovlnná – asi 60 záv. na

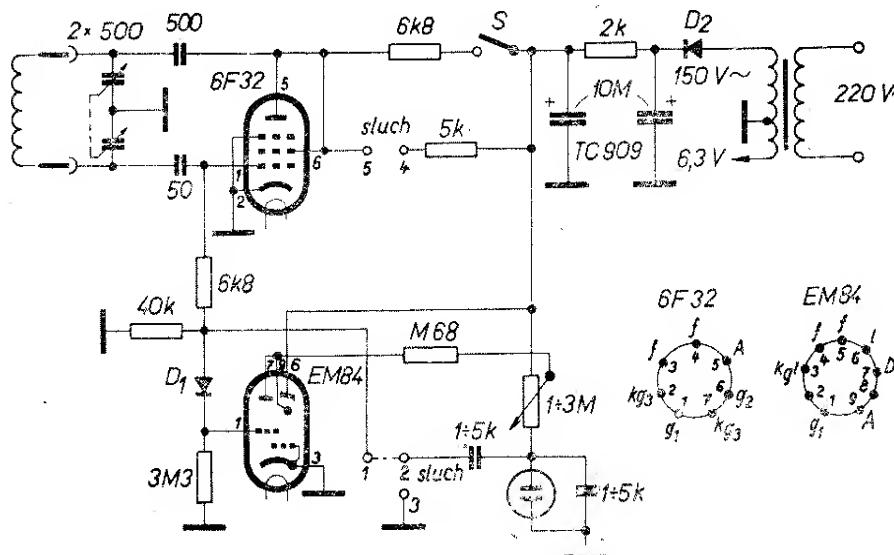
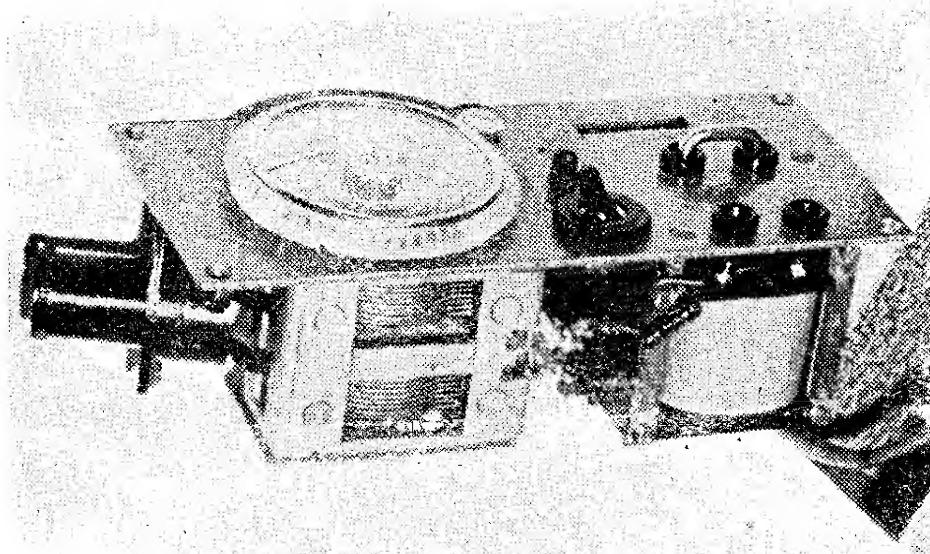


Schéma elektronkového GDO s magic-kým okem místo měřidla

*Pohled na panel
přístroje*



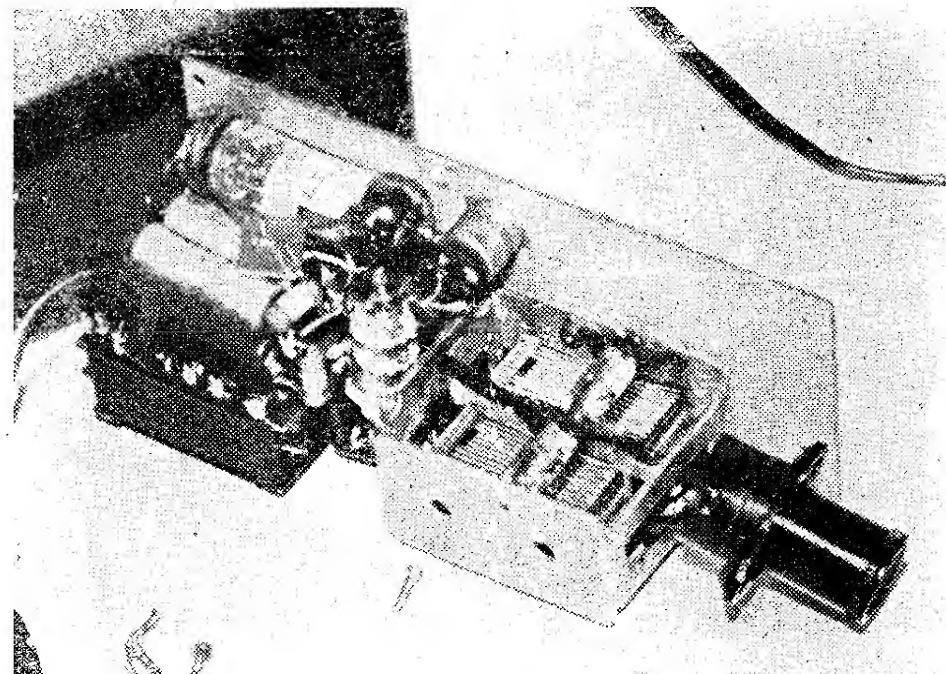
\varnothing 10 mm s jádrem a kapacitou, rozsah $1,3 \div 5,3$ MHz

4. cívka krátkovlnná – asi 20 záv. na \varnothing 10 mm s jádrem a kapacitou, rozsah $5,3 \div 20$ MHz
5. cívka krátkovlnná – asi 8 záv. drát 1 mm těsně do krytu, rozsah $20 \div 60$ MHz
6. cívka – smyčka rozklepaného drátu \varnothing 1 mm 3 cm dl., plošně, rozsah $60 \div 200$ MHz.

Síťový transformátor je docela malých rozměrů, plechy asi 5×5 cm, průřez sloupku asi 3 cm^2 . Primár je na 220 V st, sekundár 6,3 V pro žhavení elektronek

a 150 V pro usměrňování. Jako usměrňovače je výhodné použít jednu z diod usměrňovacího bloku KA 220/05. Elektrolyty jsou miniaturní TC 909 10 M/380, dioda D_1 je normální germaniová dioda.

Přístroj se zapíná šňůrou. Je-li spínač S sepnut, pracuje přístroj jako sací měříč, který zjišťujeme neznámý LC obvod, který přiblížíme těsně k oscilátorové cívce. Rezonance se projeví prudkým poklesem výsečí na magickém oku. Propojením zdířek 1 a 2 můžeme oscilátor modulovat tónem, který je nastavitelný potenciometrem.



Uspořádání součástek GDO

Je-li vypínač rozepnut, pracuje přístroj jako absorpční vlnoměr. Přiblížením k oscilátoru zjistíme jeho kmitočet, aneb zdali oscilátor pracuje. Projeví se to prudkým přiblížením výsečí. Jinak je též možno zjistit rezonanci s některým blízkým vysílačem sluchátky, zapojenými do zdírek 4 a 5. Do zdírek 2 a 3 je vyveden tón z doutnavkového generátoru.

Pevně spojené dvojice tranzistorů

Stále více se pro koncové a diferenciální zesilovače zavádějí do konstrukce párované dvojice tranzistorů. Americká společnost National Semiconductors začala vyrábět nový typ mikrominiaturních pevně spojených dvojic křemíkových tranzistorů, které se mají zejména používat pro diferenciální zesilovače; tyto zesilují elektrické signály řádu μ A. Dvojice tranzistorů jsou umístěny v jednom společném kovovém pouzdro o velikosti $1,6 \times 1,6 \times 2$ mm a jsou zality epoxydovou pryskyřicí. Dvojice tranzistorů se připojuje šesti drátovými vývody. Hodnoty tranzistorů se vzájemně liší o méně než 10 % a mají stejnosměrný zesilovací činitel 100. Pracují spolehlivě v rozsahu teplot -55 až $+125$ °C. **Há**

Há

Electronics, 37 (1964), č. 22, str. 140—141

Transistorový měřič kapacity

Velmi hledanou pomůckou pro opraváře a radioamatéry je jednoduchý a dostatečně přesný přímo ukazující měřič kapacit. V Anglii byl vyvinut měřič kapacit se dvěma tranzistory, které pracují jako multivibrátor. Ručkový mikroampérmetr s rozsahem do $100 \mu\text{A}$ je připojen přes usměrňovač na kolektor prvního tranzistoru v sériovém zapojení s měřeným kondenzátorem. Pracovní kmitočet multivibrátoru se mění přímo úměrně podle velikosti měřené kapacity kondenzátoru.

Prakticky je možné měřit kapacity v rozsahu od několika pF do 1 μ F. Výchylka ručky mikroampérmetru je v celém rozsahu lineární. Vlastní vstupní (parazitní) kapacita je asi 3 pF. Automatická ochrana přístroje proti přetížení je vyřešena paralelně připojenou křemíkovou diodou. Tato automatická ochrana je velmi důležitá, neboť při měření kondenzátoru se zkratem by se mikroampérmetr mohl přetížením poškodit nebo přímo spálit. Napájení měřiče se provádí vestavěnou baterií.

Wireless World, 70 (1964). č. 8, str. 401 až
402 A. Hálek

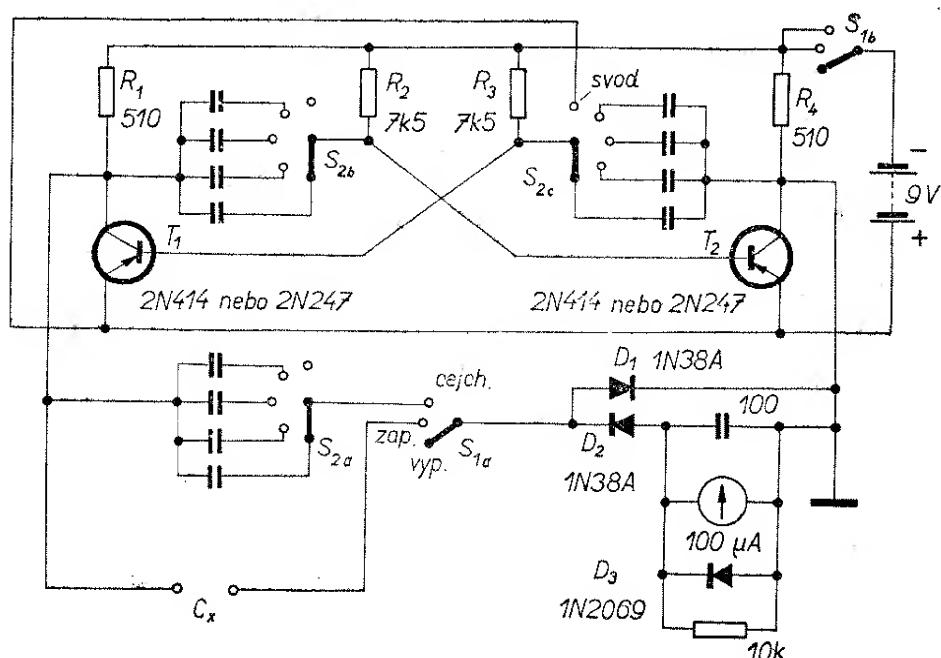


Schéma tranzistorového měřiče kapacity

GDO 2,5 ÷ 250 MHz

Ján Gavora

Popisovaný prístroj je dobrou pomocou pre každého rádioamatéra a priamo nevyhnutný pre stavbu alebo opravu prijímača alebo vysielača. Veľa rádioamatérov však nemá prístup k zapožičaniu tohto prístroja a tak neostáva nič iné, ako si GDO postaviť, čo je iste túžba nejedného, ktorý, ako sa hovorí, stavia na kolene. Postavil som GDO a tak ho pre istý záujem širšej radioamatérskej verejnosti popisujem.

Grid-dip oscilátor (GDO) je sací merač, ktorý reaguje poklesom mriežkového prúdu na odber energie z ladiaceho obvodu priblížením iného obvodu naladeného na stejný kmitočet. Sacím meračom je možné teda zistíť neznámy kmitočet obvodu LC, ktorý sám nekmitá.

Popísaný GDO pracuje na KV aj VKV a čo je dôležité: obsiahne všetky amatérské pásma od 3,5 ÷ 145 MHz. Rozsahy počnúc od 9 MHz sa prekrývajú, to znamená, že máme plynulé ladenie až do 250 MHz. Okrem merania obvodov LC je aj zdrojom signálu nemodulovaného i modulovaného 50 Hz. Ďalej pracuje ako záznejový vlnomer (ZV), ktorý využívame na kontrolu kmitania oscilátoru s malým výstupným napäťom. Pri vypnutom anódovom napäti pracuje ako absorbčný vlnomer (AV).

Aby sme sa prístrojom mohli priblížiť k meranému okruhu, ktorý je väčšinou vstavaný do nejakého prístroja, musí byť náš merač prenosný, malý a ľahký. Najtažšou súčiastkou prístroja je sietový transformátor. Mohli by sme použiť univerzálneho napájania, ale potom by bola kostra spojená s jedným pólom siete a to by bolo nebezpečné. No ak nám na nejakom tom deku nezáleží, spravíme prístroj aj s napájacím zdrojom. Veľkosť celého prístroja závisí od použitia súčiastok. Rozmery a tvar zodpovedajú praktickému uchyteniu do ruky a každý si ho môže prispôsobiť podľa svojej fantázie. Je však dôležité, aby vstupné obvody mali čo najkratšie spoje. Z toho dôvodu je výhodné pripájať objímku elektrónky a objímku pre výmenné cievky priamo na vývody otočného kondenzátora. Ostatné rozmiestnenie súčiastok už nie je kritické.

Najväčším problémom bude zohnať otočný kondenzátor 2 ÷ 22 pF (na obr.). Ja som náhodou takýto mal a tak mi odpadla najväčšia starosť. Kondenzátor je vlastne duál 4 ÷ 43 pF, nemá vyvedený rotor a tak som ho použil ako splitstator s polovičnou kapacitou. Podobný sa dá spraviť úpravou kondenzátora KHS alebo iného, len je dôležité, aby ani jeden pól

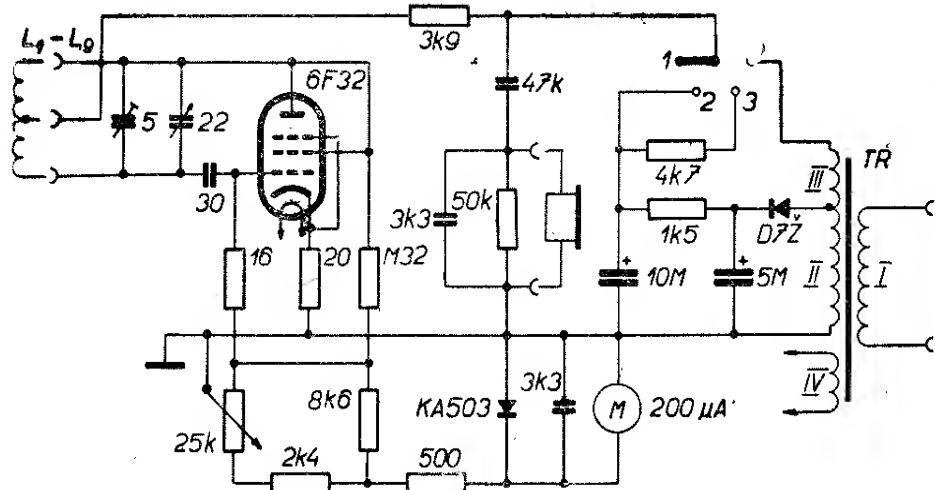
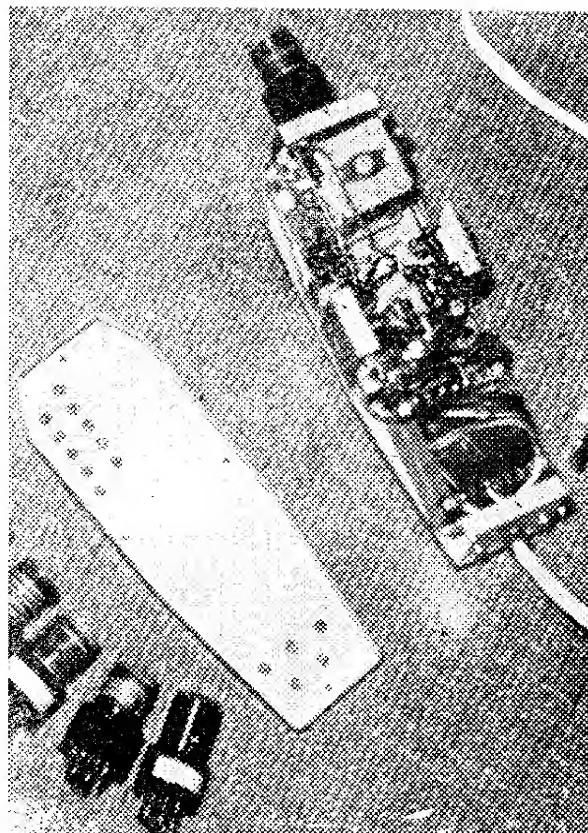


Schéma popísaného merače

nebol spojený s kostrou prístroja. Ostáva sa ešte zmieniť o prevedení výmenných cievok. Cievky L_1 — L_7 sú navinuté na keramickej kostričke o priemere 20 mm. L_8 a L_9 sú samonosné a všetky sú zapustené do pätic z elektroniek UY1N. Ako kryty na cievky sa dobre hodia púzdra z filmov Foma, predávaných za 6 Kčs. Hodnoty cievok viď tabuľku.

Transformátor je navinutý na jadre M24 s prierezom $5,25 \text{ cm}^2$. Vinutie 50 V používame pri prepnutí prístroja na vysielač ako moduláciu 50 Hz (SV). Diódu D7Ž môžeme nahradíť 35NP75 a KA503 diódou 1NN41 alebo selénom. Ak máme celý prístroj zostavený podľa tohto popisu, nemusíme mať strach, že nebude pracovať. Ostáva už len ociaľovať, čo už je nutné previesť pomocou presného KV a VKV oscilátora. Nižšie pásma ciachujeme po 100 kHz a 500 kHz, na vyšších kmitočtoch po 1 a 5 MHz. Keď ešte pridáme prístroju peknú povrchovú úpravu, máme pekný prístroj, ktorý sa určite vyrovná aj továrenskému výrobku.



L	f	\emptyset	závitov	\emptyset drôtu	d
1	$2,5 \div 3,8$	20	120	0,2 CuP	28
2	$4,8 \div 7,5$	20	48	0,4 CuP	30
3	$9 \div 14,2$	20	30	0,28 CuP	30
4	$14,3 \div 23$	20	16	0,5 CuP	20
5	$23 \div 36$	20	9	1 CuP	15
6	$36 \div 58$	20	6	1 CuP	20
7	$55 \div 85$	20	3	1 CuAg	12
8	$85 \div 140$	20	1,5	1,5 CuAg	10
9	$140 \div 250$	20	0,5	2 CuAg	—

Odbočka pre napájanie uprostred vinutia.

Sietový transformátor:			
vin.	záv.	\emptyset	CuP
I	1900	0,2 mm	220 V
II	1550	0,15 mm	180 V
III	430	0,15 mm	50 V
IV	54	0,3 mm	6,3 V

Elektrónku 6F32 môžeme nahradíť aj 6F31, 6F36, 1/2 ECC84.
 Polohy P_1 1 AV
GDO
ZV
SV

SLOVO K MЛАДЫМ

Možná, že některý z čtenářů bude mít obavu z vícerozsahového měřicího přístroje pouze proto, že si nebude vědět rady s odečítáním údaje na stupnici při různých rozsazích. Udělejme si malé cvičení. Máte-li možnost vypůjčit si Avomet, obstarajte, si ještě plochou baterii, pro samotáře mám tuto radu: nakreslete si stupnici měřidla (jako je na obr. 4) a pod ní přepínač s polohami 6, 12 a 30 V.

A teď si změříme napětí baterie na různých rozsazích našeho Avometu. Baterii připojíme správnou polaritou ke střední a pravé svorce, když jsme předtím, samozřejmě, přístroj přepnuli na nejvyšší rozsah (30 V) a přepínač funkce do polohy pro měření ss napětí. Přístroj ukáže malou výchylku, kterou odečítáme na rovnoměrné stupnici, označené vodorovnou čarou. Zatím si jí nebudeme všímat a přepneme přepínač rozsahů na rozsah 6 V. Ručka se vychylí ke 45. dílku, celá stupnice má 60 dílků. Protože jsme nastavili rozsah 6 V, odpovídá plná výchylka ručky napětí 6 V. Menší výchylka (a to je náš případ) udává napětí úměrně nižší, tj. 4,5 V. Přepneme-li nyní rozsah na 12 V, poklesne výchylka na polovinu, tj. asi k 22. dílku. Plné výchylce odpovídá 12 V, stupnice má 60 dílků, údaj měřidla musíme násobit dvěma a dělit deseti. Při přechodu na rozsah 30 V se údaj měřidla násobí 5 a dělí 10. Vyšší rozsah už je ten nejjednodušší, přímo 60 V, ale stěží odečteme správnou hodnotu na začátku stupnice. Pro praxi si zapamatujte: rozsah měřicího přístroje nastavujte tak, aby výchylka byla pokud možno v horší polovině stupnice.

Ty výpočty! Kdyby to šlo bez nich. Bohužel... Nezbývá, než jít do toho.

Všeobecně platnou zásadou je, že do vzorců se dosazují základní jednotky – V, A, Ω , Hz, F, H atd. Někdy je vžito používání upravených vzorců pro odvozené jednotky, hlavně pro kHz a MHz, mH a pF. Pak se někde ve vzorci vyskytuje konstanta, která zprostředkuje převod do základních jednotek. Počítání s desetinnými čísly, které dostávají tvar 0,0001 A pro hodnotu 100 μ A, je dosti

nepřehledné a vede k častým chybám. Proto se s oblibou používá vyjádření řádu pomocí exponentu, jinak řečeno řád čísla je dán mocninou desítky, kterou píšeme za číslo (se znaménkem krát).

Věc je velmi jednoduchá. Víme, že výraz 10^0 je roven 1. Výraz $10^1 = 10$, dále $10^2 = 100$, $10^3 = 1000$ atd. Jaké číslo je uvedeno v mocnině, tolik nul píšeme za první číslo (v našem případě jedničku). Příklad: $8,25 \cdot 10^5 = 8,25 \cdot 100\,000 = = 825\,000$. A obráceně: $6\,360\,000 = = 6,36 \cdot 1\,000\,000 = 6,36 \cdot 10^6$.

Dále, pro zlomky si celou úvahu zopakujeme. Výraz 10^{-1} je roven 0,1, dále $10^{-2} = 0,01$, $10^{-3} = 0,001$ atd. Jaké číslo je uvedeno v mocnině se záporným znaménkem, tolik nul píšeme před poslední číslo (v našem případě jedničku), přitom první nulu oddělíme desetinnou čárkou. Příklad: $8,25 \cdot 10^{-5} = 8,25 \cdot 0,00001 = = 0,0000825$. A obráceně: $0,00000636 = = 6,36 \cdot 0,000001 = 6,36 \cdot 10^{-6}$.

Zajímavý případ nastane, máme-li převádět „deset na něco“ ve zlomku z čitatele do jmenovatele a naopak. Platí zde jednoduché pravidlo

$$10^5 = \frac{1}{10^{-5}} \text{ a např. } 10^{-6} = \frac{1}{10^6}.$$

Při převádění takových výrazů na opačnou stranu zlomkové čáry se mění znaménko.

A vyskytne-li se ve zlomku několik takových výrazů, zjistíme (pokud jde jenom o násobení) výsledný řád jednoduše odečítáním exponentů, například

$$A = \frac{5 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^3} = \\ = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{2,5} = \frac{5 \cdot 0,1}{2,5} = \\ = \frac{2 \cdot 0,1}{1} = 0,2$$

Teď se ještě pocvičte na několika příkladech, které si lehce sami sestavíte a s chutí do přemáhání odporu šedé kůry mozkové. Mnoho zdaru.

Měřicí přístroje se zápisem

Inž. J. T. Hyan

Nezbytným předpokladem přesného a spolehlivého měření jsou moderní měřicí přístroje, které dovolují zjistit zkoumané veličiny s minimální chybou při současné registraci měřených hodnot. Jako ukázkou takového měřicího přístroje jsme vybrali výrobek zahraniční firmy Goerz (Rakousko), a to univerzální volt-ampérmetr Multiscript 3, který mimo ručkového ukazatele je vybaven zapisovacím zařízením (rycím hrotom a záznamovým papírem). S tímto přístrojem jsme měli možnost se blíže seznámit na loňském lipském veletrhu. Jeho rozměry jsou jen o něco málo větší než u známého Avometu. Je zajímavé, že pro registraci hodnot není třeba zřejmě velké síly psacího hrotu, což dokazuje nejnižší měřicí rozsah 50 μ A a vysoký vnitřní odpor (20 000 Ω /V, který je zachován na všech napěťových rozsazích z možných dvouadvaceti).

Z obr. 2 je jistě každému jasná koncepce registrujícího měřicího přístroje. Skládá se – jak patrno – z vlastního měřicího systému (zpravidla Deprez d'Arsonval) s nožovým ukazatelem, k němuž je připevněno záznamové pero s inkoustovou náplní, a to s malou vůlí v rovině ukazatele kolmě k záznamovému papíru. Inkoustové patronky jsou výměnné – používá se pro opakující se měření na jeden a tentýž papír barvy červené, mod-

ré a zelené. Další částí přístroje je válec se zásobou záznamového papíru, jenž je při měření posouván mechanicky (hodinovým strojkem) nebo elektrickým pohonem – elektromotorem.

U některých registrujících měřicích přístrojů se používá místo pera s inkoustem safírového hrotu, jehož mechanismus vyžaduje menší sílu pro záznam oproti peru. V tom případě se však nepíše na bílý papír (s předtiskem rastrem), ale ryje se do speciální voskové vrstvy na transparentním nebo černém papíru. Tento způsob záznamu je právě použit u výše uvedeného universálního volt-ampérmetru.

Nejsou-li konstrukčně upraveny půlové nástavce vlastního měřidla, pak výchylky na záznamovém papíře nejsou úměrné – jsou na začátku a konci poněkud stlačené (v příčném směru). To proto, že linearita stupnice měřidla s otočnou cívkou platí jen v rozsahu kruhové stupnice. Proto jsou na záznamovém papíře předem vytiskeny či vyryty rovnoběžky o dostatečné hustotě, které pomáhají číst zaznamenaný údaj v kterémkoliv místě s dostatečnou přesností.

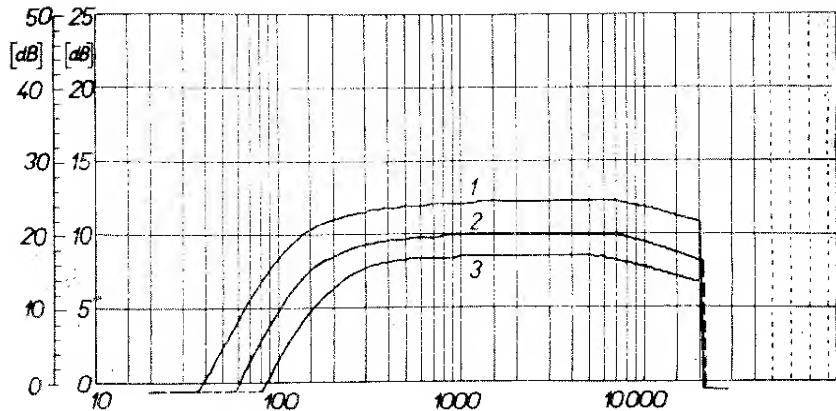
Další vývojový stupeň těchto záznamových měřicích přístrojů tvoří tzv. zapisovače. Jsou to registrující přístroje, které tvoří příslušenství speciálních mě-

RADIOVÝ KONSTRUKTÉR

– časopis Svazarmu vychází dvouměsíčně. Vydává Vydavatelství časopisů MNO, Praha 1, Vladislavova 26, tel. 234 355-7 ● Hlavní redaktor František Smolík ● Redakční rada: K. Bartoš, inž. J. Čermák, K. Donát, O. Filka, A. Hálek, inž. M. Havlíček, V. Hes, inž. J. T. Hyan, K. Krbec, A. Lavante, inž. J. Navrátil, V. Nedvěd, inž. J. Nováková, inž. O. Petráček, K. Pytner, J. Sedláček, J. Vetešník, L. Zýka ● Redakce Praha 2, Lublaňská 57, telefon 223 630 ● Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 3,50 Kčs, poletní předplatné 10,50 Kčs, roční předplatné 21,— Kčs ● Rozšíruje Poštovní novinová služba, v jednotkách ozbrojených sil VČ MNO – administrace, Praha 1, Vladislavova 26. Objednávky přijímá každý poštovní úřad a doručovatel ● Dohledací pošta Praha 07 ● Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS – vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1 ● Tiskne Naše Vojsko, závod 01, Na Valech 1, Praha 6, Dejvice ● Za původnost příspěvků ručí autor. Redakce rukopis vrátí, bude-li vyžádán a bude-li připojena frankovaná obálka se zpětnou adresou ● Toto číslo vyšlo 20. června 1965.

© Vydavatelství časopisů MNO Praha

A-23*51265



Obr. 1. Ukázka kmitočtové charakteristiky proměřovaného čtyřpólu – tranzistorového zesilovače podle RK 1/65, str. 28, obr. 3 – měřené s různými úrovněmi a zachycené zapisovačem z obr. 3. Výchylky jsou zaznamenány přímo v dB (1 - 250 mW, 2 - 100 mW, 3 - 5 mW). Tímtož způsobem byla pořízena charakteristika jiného nf zesilovače v RK 1/65, str. 38, obr. 37.

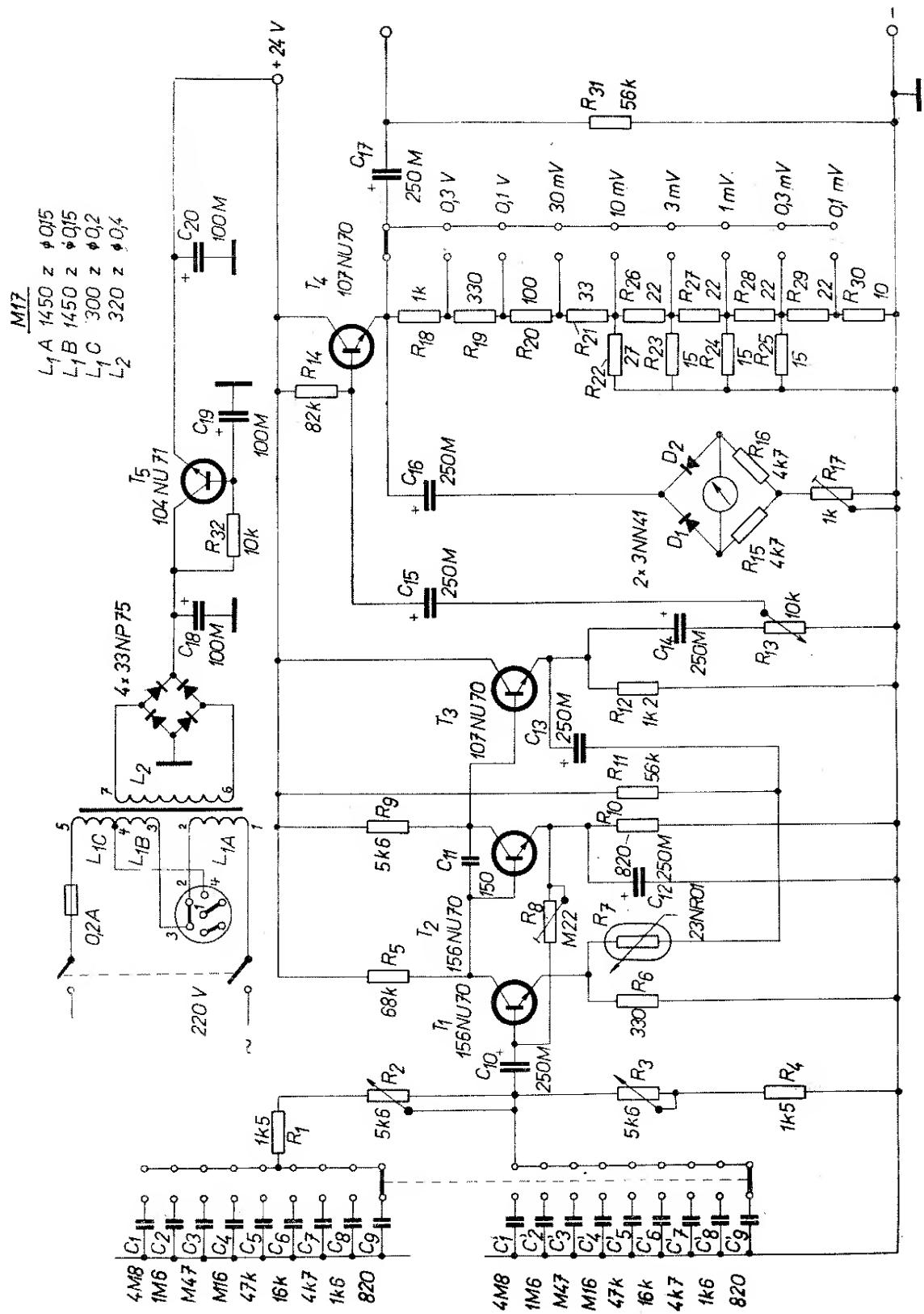
řicích přístrojů. Mají značná zdokonalení proti předechozímu představiteli – jako je např. lineární výchylka (ve směru příčném), popř. logaritmická apod., volitelná šířka papíru a druh zápisu, volitelná rychlosť zápisu, značkování v žádaných místech měření atd. Na obr. 3 uvádíme ukázku zapisovače známé firmy Brüel & Kjaer – přístroje velmi přesného, bohužel však též poměrně drahého.

Zapisovače se používají pro různá elektrická měření a registraci elektrických i neelektrických veličin v nejrůznějších oborech. Největší uplatnění mají v akustice, elektroakustice, elektronice, dále ve stavebnictví a strojníctví. Konkrétně je to např. použití zapisovače ve spojení s generátorem pro registraci kmitočtových charakteristik, útlumů, dozvuku, plynulý záZNAM harmonického zkreslení. Zapisovač ve spojení s laditelným analyzátem pak slouží pro analýzu hluku, elektrických napětí, obsahu harmonických, zkreslení apod. Jiný typ zesilovače (BAK, Aritma), jenž má i proměnný řízený posuv papíru, slouží ve spojení s analogovým počítačem k registraci řešení diferenciálních rovnic apod. Na obr. 1 je ukázka kmitočtové charakteristiky, zapsané zapisovačem B & K 2305A po trojím (opakováném) měření, kdy výchylky jsou vyznačeny přímo v dB.

Nový tranzistorový zesilovač o výkonu 10 W

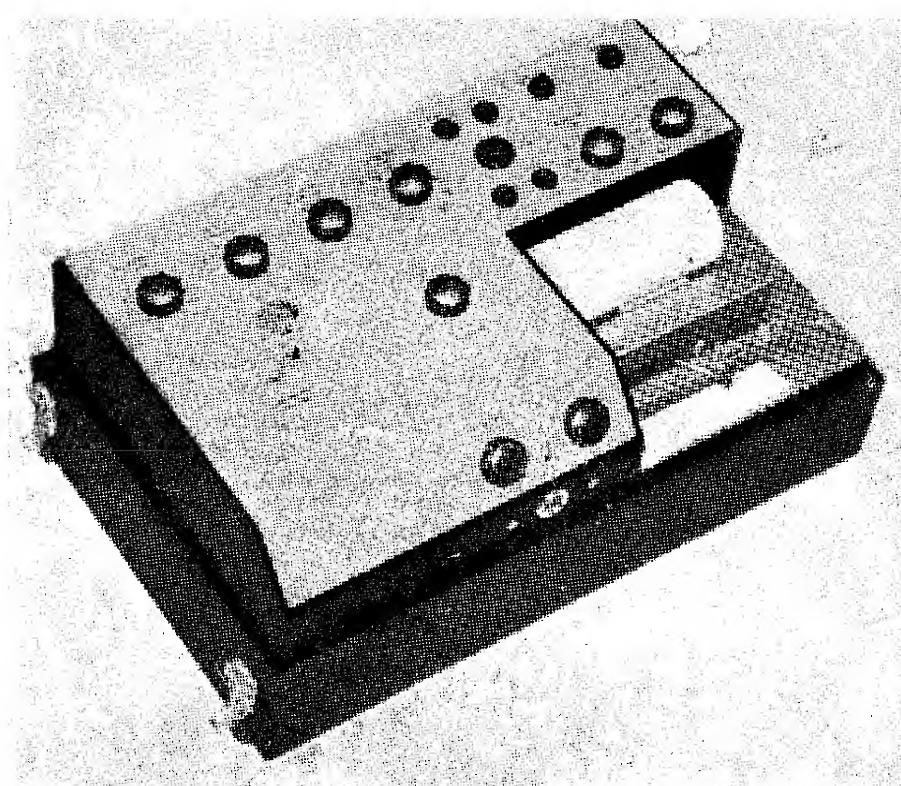
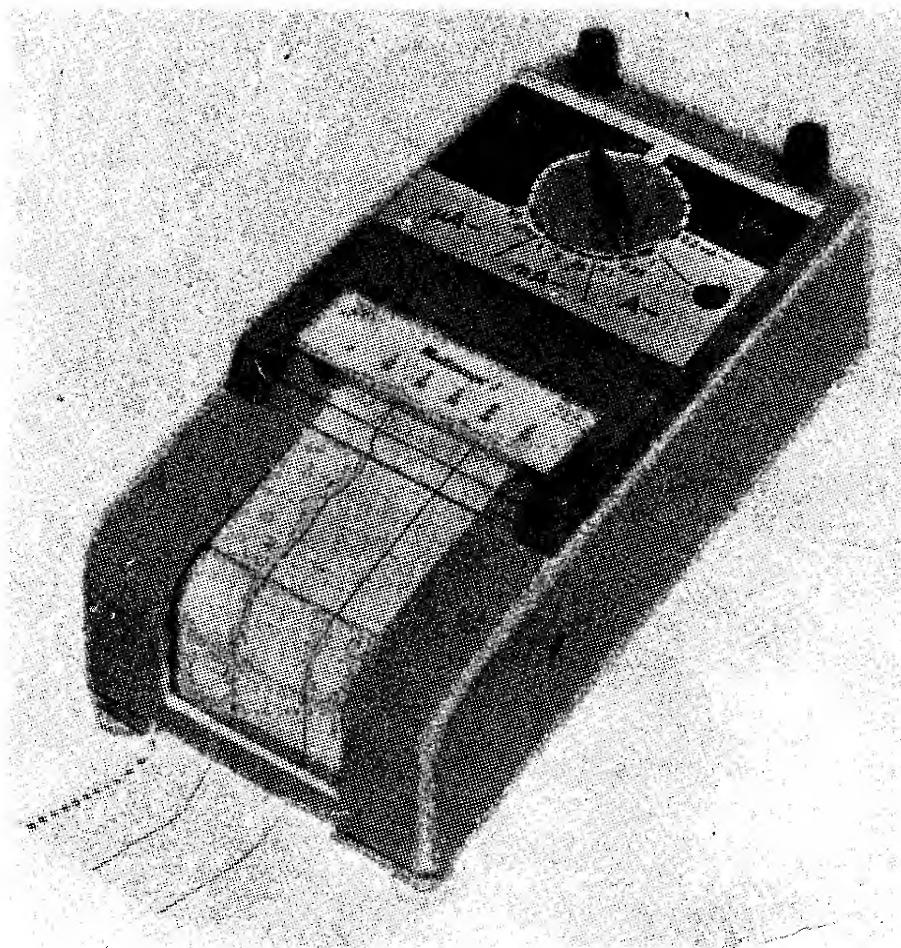
Americká společnost Sinclair ukončila vývoj nového typu tranzistorového zesilovače označeného X-10, který se má používat jako koncový zesilovač pro různé druhy přijímačů, zesilovacích stupňů a regulačních obvodů různých automatik. Citlivost vstupu je 1 mV, jeho kmitočtová charakteristika má odchylky od lineárního průběhu menší než ± 1 dB v kmitočtovém pásmu od 5 Hz do 20 kHz. Údaj 10 W se rozumí při přirozeném hudebním signálu (výkon v hudbě, music power).

Zesilovač X-10 pracuje s pulsní šířkovou modulací, která umožňuje dosažení vysokých zesilovacích výkonů. Výstup zesilovače pracuje bez výstupního transformátoru do zátěže 15 ohmů, která nemusí být izolována kondenzátorem. Zkreslení zesilovače je menší než 0,1 % a je osazen 11 tranzistorů, z nichž 4 pracují na výstupním stupni. Napájení je 12 až 15 V při klidovém proudu 75 mA. Konstrukční rozměry jsou $150 \times 75 \times 18,5$ mm při váze 190 g. Há



Zapojení tónového generátoru 5 Hz \div 110 kHz. (K článku na str. 54)

Obr. 2. Univerzální
volt-ampérmetr
Multiscript 3



Obr. 3. Zapisovač
Brüel & Kjaer
2305 A